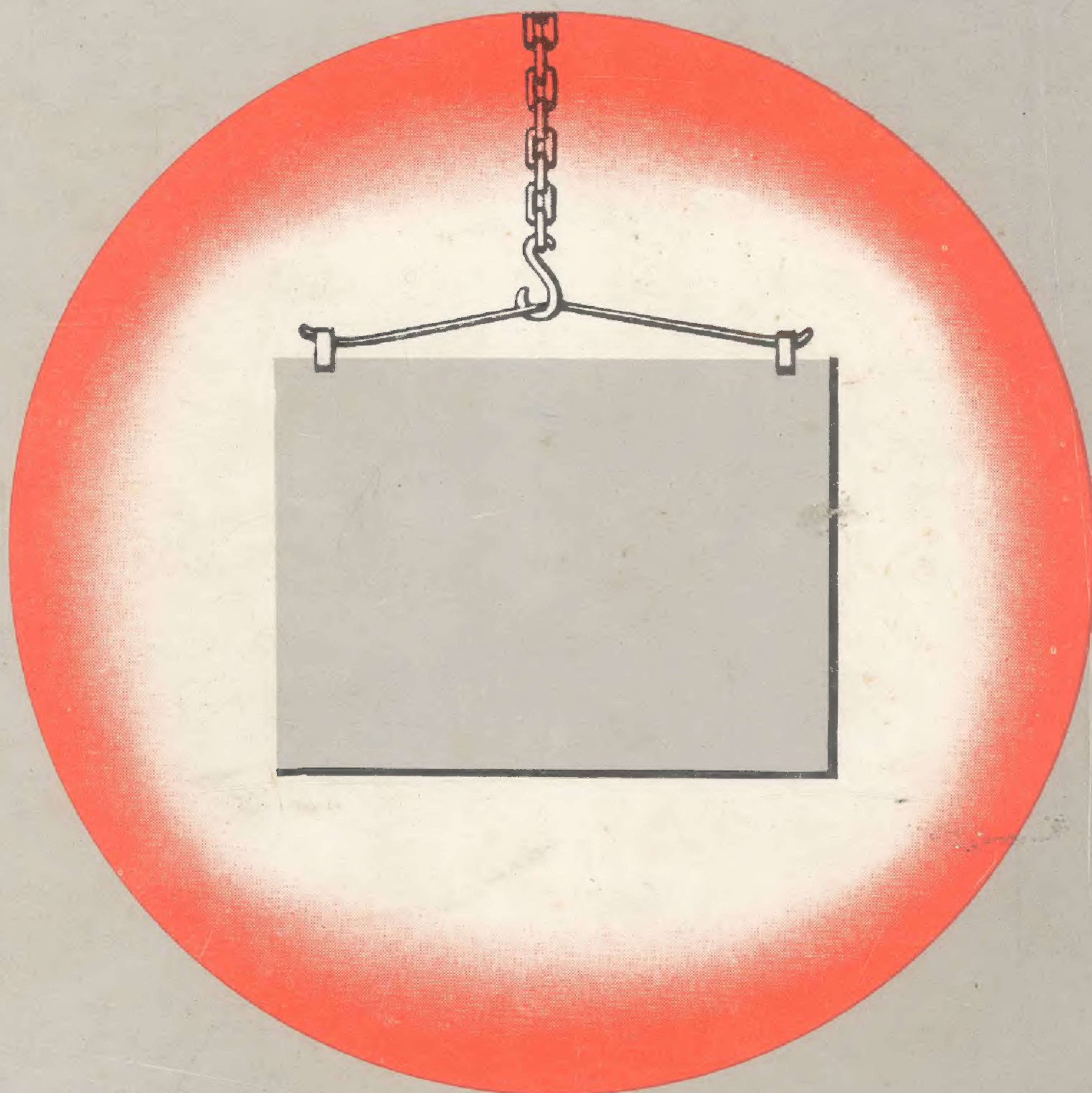


تكنولوجيا الألومنيوم

الجزء الأول



الألسس
التكنولوجيا

الأسس التكنولوجية

الترجمة العربية بإشراف

دكتور مهندس أنور محمود عبد الواحد

تكنولوجيا الألومنيوم

الجزء الأول

مهندس سعيد عبد الغفار

مؤسسة الأهرام بالقاهرة

محتويات الكتاب

صفحة	
٥	مقدمة
٧	الباب الأول : الألومنيوم : استخداماته وخواصه
١٨	الباب الثاني : إنتاج الألومنيوم
١٨	مراحل إنتاج الألومنيوم
٢١	١ - خامات الألومنيوم
٢٤	٢ - العمليات الميتالورجية الفيزيائية في صناعة الألومنيوم
٤٢	٣ - إنتاج المواد المساعدة في صناعة الألومنيوم
٤٩	٤ - إنتاج الألومينا
٦١	٥ - استخلاص الألومنيوم
٧٠	٦ - تنقية الألومنيوم
٧٧	الباب الثالث : الميتالورجيا الفيزيائية للفلزات وتطبيقاتها
٧٧	مقدمة في الميتالورجيا الفيزيائية
٨١	قاعدة الصنف ومنحنيات الاتزان
٨٥	منحنيات الاتزان لمجموعة ثنائية
١٠١	منحنيات الاتزان لمجموعة ثلاثية
١٠٩	الباب الرابع : المعاملة الحرارية لسبائك الألومنيوم
١١٣	ميتالورجيا المعاملة الحرارية لسبائك الألومنيوم
١١٣	التصلد نتيجة التشغيل
١١٥	دور عنصر الوقت في عمليات المعاملة الحرارية
١١٨	التجمد النبائي
١١٨	الترسيب (لمكونات السبيكة)
١١٩	الإنمزالية
١١٩	التجنييس
١٢٠	تقوية سبائك الألومنيوم بواسطة المعاملة الحرارية
١٢٤	المحلول الجامد

١٢٥	... الانتشار
١٢٦	... التقيية - طرق التحكم في المعاملة الحرارية
١٢٧	... التصليد بالتعتيق إزمانياً
١٢٨	... تقسيم سبائك الألومنيوم (بالنسبة لاستجابتها للمعاملة الحرارية)
١٣٠	... المبادئ الأساسية لسبائك الألومنيوم القابلة للتشكيل
١٣٠	... التشوه اللدن
١٣١	... ظاهرة الاستعادة
١٣٢	... إعادة التبلور
١٣٣	... حجم الحبيبات المتكونة
١٣٤	... تلدين (تخمير) سبائك الألومنيوم
١٣٤	... سبائك الألومنيوم التي لا تستجيب للمعاملة الحرارية
١٣٤	... سبائك الألومنيوم التي تستجيب للمعاملة الحرارية
١٣٥	... المعاملة الحرارية لسبائك الألومنيوم كعملية تذويب لمكونات السبيكة في محلول
١٣٧	... خطوات التقيية بالمعاملة الحرارية للسبائك
١٣٨	... المشاكل التي تنشأ عن المعاملة الحرارية
١٣٩	... الباب الخامس : أجهزة التسخين في صناعة الألومنيوم
١٥٣	... الباب السادس : سبائك الألومنيوم وخواصها
١٥٦	... الألومنيوم النقي
١٥٧	... الألومنيوم النقي تجارياً
١٥٨	... سبائك الألومنيوم القابلة للتشكيل
١٧٤	... سبائك الألومنيوم للمسبوكات
١٩٨	... الباب السابع : تآكل سبائك الألومنيوم وتأثير الإجهادات الداخلية
٢٠٨	... الباب الثامن : ميتالورجيا مساحيق الألومنيوم
٢٢٥	... الملاحق :
٢٢٦	... ملحق (١) : الجدول الدوري للعناصر
٢٢٨	... ملحق (٢) : العناصر الكيميائية ورموزها
٢٣٠	... ملحق (٣) : تأثير بعض الكيماويات على الألومنيوم وسبائكه
٢٣٥	... ملحق (٤) : بعض منحنيات الاتزان الحراري لمجموعات ثنائية لسبائك الألومنيوم
٢٤٢	... ملحق (٥) : المعاملات الحرارية لبعض سبائك الألومنيوم شائعة الاستعمال
٢٤٥	... ملحق (٦) : فحص مجهري لبعض عينات من سبائك الألومنيوم
٢٥٤	... ملحق (٧) : أوزان القطاعات الأساسية لمنتجات الألومنيوم

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة

يوجد الألومنيوم بكثرة في الطبيعة ، وهو يتصدر الفلزات جميعاً ، من حيث وفرته في القشرة الأرضية . وبالرغم من ذلك ، فقد ظل مجهولاً قروناً طويلة ، إذ ظلت الإمكانيات البشرية قاصرة عن استخلاص الألومنيوم فلزاً نقياً ، حتى القرن الماضي . ويرجع ذلك إلى شراهة الفلز الكبيرة للاتحاد بالأكسجين وغيره من العناصر المختلفة ، ومن ثم كان انتزاعه منها أمراً صعباً .

ولكن ما إن تم اكتشافه عملياً ، والتوصل بطريقة اقتصادية إلى استخلاصه من خاماته ، حتى شارك بفاعلية وإيجابية في شتى نواحي الحياة ، مدنية وعسكرية ، وتبوأ بجدارة مكانة مرموقة ، وأصبح بفضل سبائكه المتعددة ، من أهم المواد الهندسية .

وظهر إلى حيز التطبيق ، عدد لا بأس به من سبائك الألومنيوم المختلفة ، بعضها يتقبل طرق التشكيل بالطرق والسحب ، وبعضها يناسب أساليب التشكيل بالسباكة . كما نتج عن تقدم وتطور الميتالورجيا ، أن أمكن معاملة كل سبيكة على حدة ، بطرائق متعددة ومختلفة ، وبذلك تغير التركيب البلوري للسبيكة نفسها إلى أنماط متباينة ، لكل منها خواص وصفات متنوعة - وقد تتسع الهوة بين هذه الخواص والصفات إلى حد بعيد - مما وسع من نطاق استخدام الألومنيوم وسبائكه .

ويهتم هذا الجزء الأول من الكتاب بميتالورجيا الألومنيوم . فيتعرض الباب الأول لاستخداماته وخواصه ، ويتناول الباب الثاني المراحل المختلفة لإنتاج الفلز ، حتى الحصول عليه في كتل نقية صالحة لأغراض التشكيل المختلفة ، بعد إضافة العناصر السبكية المناسبة . ثم يلقي الباب الثالث الضوء على الميتالورجيا الفيزيائية للفلزات وتطبيقاتها ، كمدخل أساسي للباب الرابع الذي يناقش أساليب المعاملة الحرارية لسبائك الألومنيوم . ولأهمية أساليب المعاملة الحرارية لسبائك الألومنيوم وتباينها ، كان لزاماً التعرض بشئ من الإسهاب ، لأجهزة التسخين التي تناسب هذه الأغراض . فأفرد لها الباب الخامس .

ولقد خصص الباب السادس لتقديم مجموعة مناسبة من سبائك الألومنيوم المختلفة ، وإدراج خواصها واستخداماتها . ويتناول الباب السابع موضوع تآكل سبائك الألومنيوم وأسبابها ، ومن ثم طرق الوقاية الميتالورجية منها . وأفرد الباب الأخير لدراسة ميتالورجيا المساحيق ، وتطبيقاتها بالنسبة للألومنيوم .

ويشتمل الكتاب على بعض الملاحق الهامة التي لا غنى عنها في التطبيقات الصناعية والعملية .
والكتاب بصورته هذه ، يتناول موضوعات تخصصية بصورة مبسطة ، تجعله مناسباً للقاعدة
العريضة من الملاحظين والفنيين . وفي الوقت نفسه يجد فيه المهندسون مادة علمية ، تتناول شتى
الجوانب الميتالورجية للألومنيوم ، خاصة في هذه المرحلة التي يجري فيها استكمال تشييد مجمع
الألومنيوم الضخم في جمهورية مصر العربية .

والله سبحانه نسال أن يوفقنا دائماً إلى ما فيه التوفيق والسداد .

سعيد عبد الغفار

السبب الأول

الألومنيوم : استخداماته وخواصه

يحتل الألومنيوم المرتبة الأولى من بين جميع الفلزات من حيث الوفرة، ويأتي في المرتبة الثالثة من بين العناصر جميعا ، الجدول (١) ، اذ يأتي بعد الأكسجين والسيليكون مباشرة ، وهو يكون ٧,٤٥ ٪ من وزن القشرة الأرضية . ولقد عرف في الطبيعة - حتى الآن - أكثر من ٢٥٠ خامة معدنية تحتوي على الألومنيوم . ولكن الألومنيوم لم يعثر عليه قط بالحالة الفطرية لشرائه البالغة للأكسجين ، بل يوجد في الطبيعة على هيئة مركبات . وتتكون على سطح الألومنيوم الفلزي ، فور تعرضه لأكسجين الهواء ، طبقة متماسكة من الأكسيد . والواقع أنه لولا تلك الطبقة ، لاحترق في الجو مشتعلا مثل الهوتاسيوم . وعليه ، يمكن القول بأنه ما من أحد يمكنه رؤية الفلز نفسه ، إذ أن ما نراه هو طبقة الأكسيد التي تغطي لمعان الألومنيوم ، وتحميه من المزيد من التأكسد .

وهذه الطبقة من الأكسيد ، هي التي تكسب الألومنيوم مقاومة عالية ، لتأثير بعض السوائل الأكالة ، فلا يؤثر عليه حمض النتريك المركز والأحماض العضوية ، ولكن القلويات يمكنها إذابة طبقة الأكسيد ، معرضة المعدن أسفلها للتآكل والدمار .

وكثافة الألومنيوم منخفضة نسبيا ، إذ تبلغ حوالى ثلث كثافة معظم المعادن التي تنافسه في مجالات الاستخدامات العملية ، باستثناء عنصرى المغنسيوم والتيتانيوم .

وما زالت منافسة التيتانيوم للألومنيوم في أضيق الحدود ، وإن كانت قد تويت في بعض الاستخدامات ، مثل مجال الطيران ، حيث تعمل درجات حرارة التشغيل العالية ، على خفض متانة سبائك الألومنيوم ، إلى الحد الذي تبدو فيه النسبة (المتانة : الوزن) غير عملية في تلك الاستخدامات .

وقبل توافر التيتانيوم ، اضطلع الصلب المقاوم للصدأ بكثير من المهام في هذه التطبيقات . ولكن تغطي الآن تشكيلة واسعة مبتكرة من سبائك الألومنيوم - أمكن تصنيعها بفضل مجهودات دؤوبة لجمهرة الباحثين في هذا الميدان - بعضا من هذه التطبيقات ، متى كانت درجة الحرارة متوسطة نسبيا .

وإذا قورنت أسلاك الألومنيوم مع أسلاك النحاس ، يتضح أن الموصل الألومنيومي الذي له نفس المقاومة للتيار الكهربائي ، يكون أخف وزنا من الموصل النحاسي ، وعلى ذلك تلزم حمالات أقل لخطوط نقل القدرة . كما أن المحرك أو المولد الكهربائي الذي تصنع ملفاته من أسلاك الألومنيوم ، يكون أخف وزنا ، من تلك المصنوعة من الأسلاك النحاسية .

هذه المزايا وغيرها ، تجعل من الألومنيوم الفلز المفضل في العديد من الأعمال الهندسية على اختلاف تخصصاتها ، فهو يستخدم في الهندسة الكهربائية ، في صورة أسلاك ، وكابلات ، وموصلات ، ومكثفات ، ومقومات تيار ، وأجهزة . وتستخدم في هندسة الراديو ، رقائق من الألومنيوم لا تزيد في سمكها على ورق تغليف السجائر ، وأسلاك من الألومنيوم أدق من خيط العنكبوت .

وتعتبر صناعة الطيران ، أكبر مستعمل للألومنيوم وسبائكه ، حيث تصنع منها هياكل الطائرات الحديثة . ويؤدي استخدام سبائك الألومنيوم في بناء السفن ، إلى زيادة حمولة السفن ، أو إلى تقليل غاطسها ، وللصفة الأخيرة أهمية كبيرة في الملاحة النهرية ، حيث كثافة الماء أقل . وتستخدم كميات كبيرة من سبائك الألومنيوم في صناعة السيارات ، والأتوبيسات ، وعربات السكك الحديدية . ولقد أصبحت سبائك الألومنيوم مادة رئيسية في صناعة محركات الاحتراق الداخلي المختلفة ، خاصة تلك التي تبرد هوائيا ، حيث ينبغي أن تكون ذات موصلية عالية للحرارة ، إلى جانب خفة وزنها .

كذلك يستخدم الألومنيوم وسبائكه في صناعة آلات ومعدات التصوير السينمائي والفوتوغرافي ، وأجهزة الراديو ، وفي صنع أثاث خفيف الوزن ، يمتاز بمتانتة ورونقه .

وفي الهندسة الكيميائية ، يستفاد من مقاومة التآكل العالية للألومنيوم ، في صنع أجهزة إنتاج حمض النتريك ، وكثير من المواد العضوية ، والمنتجات الغذائية وغيرها .

ولقد استخدم الألومنيوم وسبائكه ، في صنع العديد من أجزاء هياكل الأقمار الصناعية . كما يستخدم في صنع أوعية حمض الحليك ، وحمض الزيتيك ، وحمض السيتاريك ، وغيرها من الأحماض العضوية ، وفي صنع معدات إنتاج حمض البوريك ، والدهون ، والكحولات ، والزيوت ، والورنيشات ، والحرير الاصطناعي ، والأثيرات ، والجليسرين وغيرها .

ولألفة الألومنيوم الكبيرة للاتحاد بالأكسجين ، فهو يستطلع اختزال معظم الفلزات من أكاسيدها ، مما مكن من الحصول على الفلزات النادرة كالكروم ، والفاناديوم ، والسترنشيوم ، والباريوم ، والليثيوم ، وغيرها . وتستخدم الأنواع الحديثة من الألومنيوم في عملية إزالة الأكسدة ، ونزع الأكسجين في بعض أنواع الصلب .

وكثيرا ما يستخدم الألومنيوم عالي النقاوة ، أو بعض سبائكه الخاصة ، في صناعة عاكسات الضوء والمرايا ، إذ يكتسب الألومنيوم وبعض سبائكه الخاصة ، قوة عاكسة كبيرة بعد تلميعها كيميائيا ، أو بواسطة التحليل الكهربائي .

وتستخدم مركبات الألومنيوم المختلفة ، في كثير من فروع الصناعة ، فيستخدم الكورندم ، وتركيبه أكسيد الألومنيوم (Al_2O_3) ، في صنع أقراص التجليخ ، إذ أنه من أفضل مواد التجليخ . ويستخدم أكسيد الألومنيوم النقي في صناعة المواد المقاومة للحرارة العالية «الحراريات»

ذات الأداء الممتاز ، والياقوت الاصطناعي ، والأنواع الجيدة من أسمنت الأسنان . أما كلوريد الألومنيوم اللامائي ، فيستخدم عاملاً حفازاً في عمليات تكرير البترول . وتستخدم كبريتات الألومنيوم $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (كـ ب أ ٣) ، مادة لترشيح الماء عند تنقيته ، كما يستخدم الشب ، وهو كبريتات مائية للألومنيوم والبوتاسيوم ، في صناعة الغزل والنسيج ، وفي صناعة ديبج الجلود وصناعة الورق .

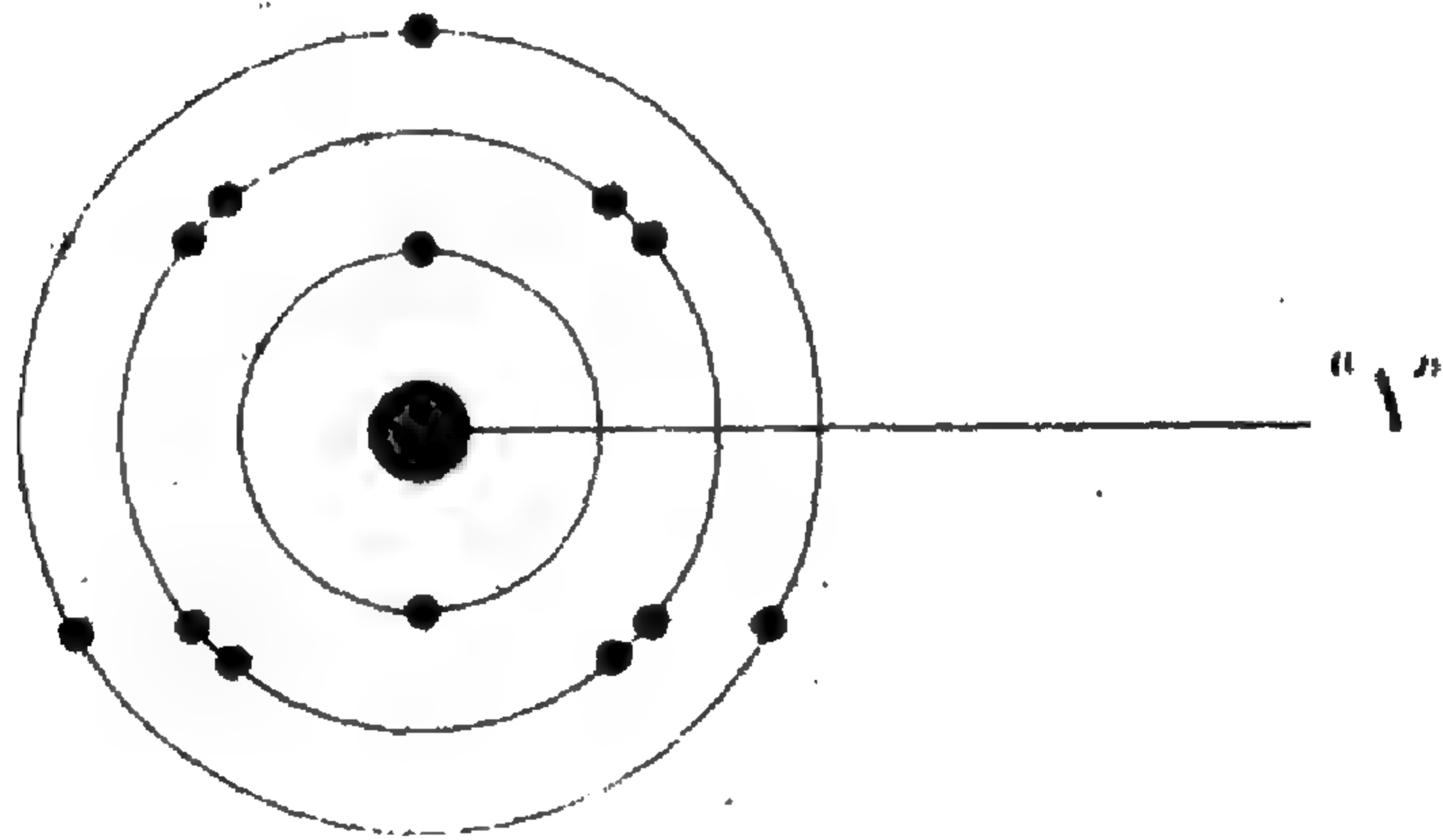
خواص الألومنيوم

الخواص الفيزيائية :

* التركيب الذري : عنصر الألومنيوم ، رمزه الكيميائي لو ، وعدده الذري ١٣ ، أي أن ذرة الألومنيوم تحتوي على ١٣ إلكترونات ، يحمل كل منها شحنة كهربائية سالبة واحدة ، وترتب هذه الإلكترونات في مدارات ثلاثة حول نواة تتركز فيها ١٣ شحنة كهربائية موجبة . وترتب الإلكترونات في المدارات المختلفة طبقاً للقانون الرياضي التالي :

عدد الإلكترونات في المدار = $2 \times (\text{رقم ترتيب المدار})^2$.

وعليه فإن عدد الإلكترونات في المدار الأول ٢ ، وفي المدار الثاني ٨ ، وتتبقى ثلاثة إلكترونات تسبح في المدار الخارجي ، وهي التي تحدد تكافؤ عنصر الألومنيوم . ولذلك فالألومنيوم ثلاثي التكافؤ ، الشكل (١) .



(شكل ١)

١ - نواة

العدد الذري ١٣

الشحنة الكهربائية + ١٣

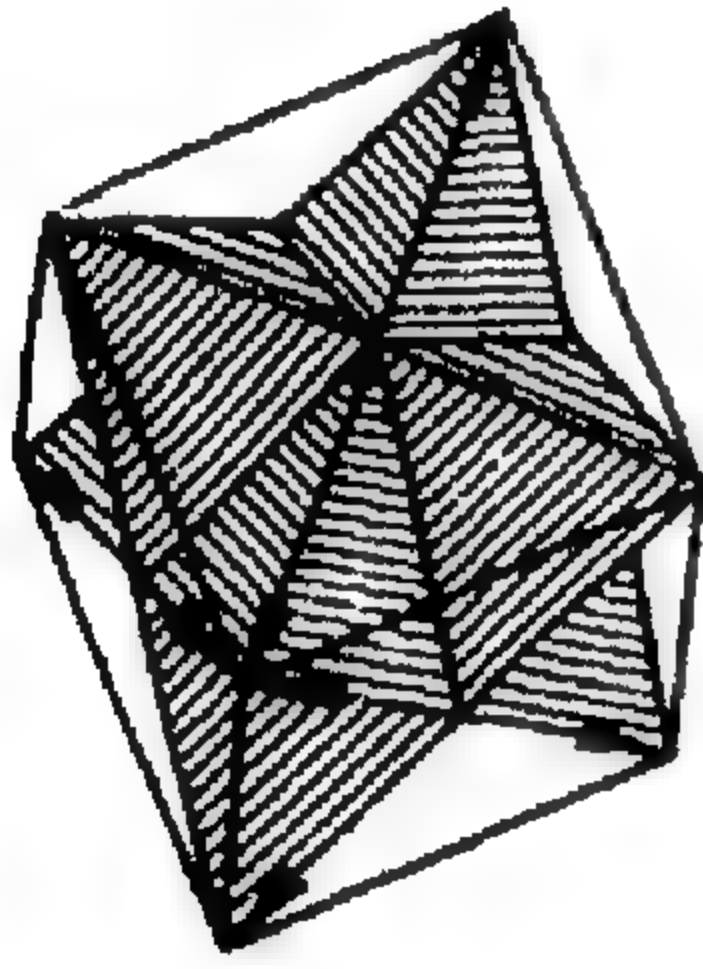
التكافؤ ٣

* التركيب البلوري : عندما تتحول الفلزات المنصهرة إلى حالة الصلابة ، فإنها تتخذ أنماطاً بلورية . وتعمل الذرات والجزيئات على ترتيب نفسها في أوضاع محددة ، متماثلة الانتظام بالنسبة

لبعضها بعضا . وتنظم ذرات الألومنيوم في بلورات يكون هيكلها الهندسي مكعبا متمركز الوجه (كما في الشكل ٢) . ولهذا فهو من أكثر الفلزات قابلية للاستطالة ، لتعدد مستويات الانزلاق به ، إذ يحظى هذا النمط البلوري - المكعب متمركز الوجه - بأكثر عدد متاح من مستويات الانزلاق اللازمة لإحداث الاستطالة (كما في الشكل ٣) . ويبلغ طول ضلع الهيكل البلوري المكعب الشكل للألومنيوم بالغ النقاوة : $4,04 \times 10^{-8}$ سم .

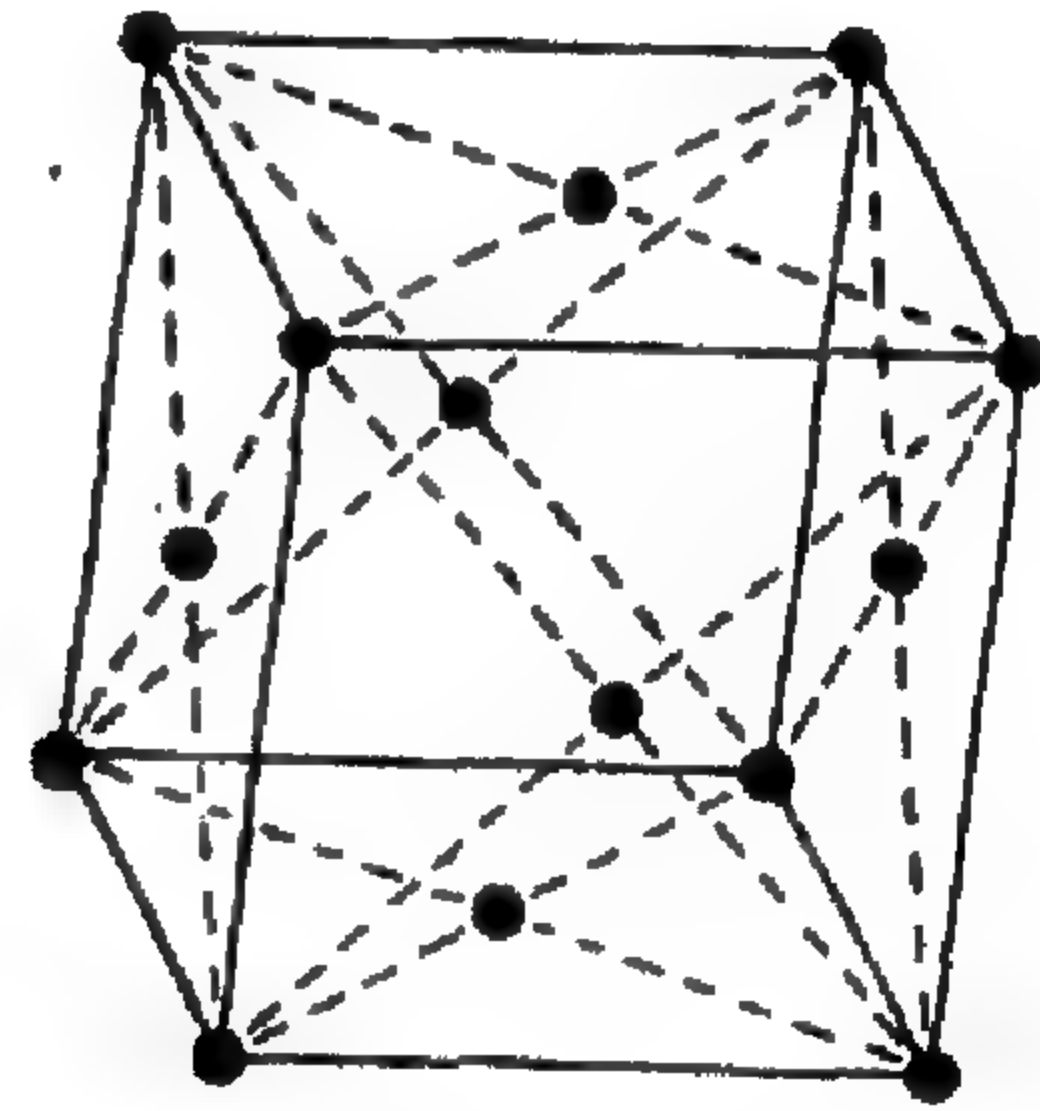
• الكثافة : تعتبر خفة الوزن هي السمة الرئيسية ، والخاصة المميزة لفلز الألومنيوم ، وبها تفوق على جميع أقرانه من الفلزات . ويبلغ الوزن الذري * لهذا الفلز ٢٦,٩٧ ، ووزنه النوعي ٢,٧٠ وهو كسائر الفلزات ، تتناقص كثافته بارتفاع درجة الحرارة . ولا تتأثر كثافة الألومنيوم * ، بصورة جوهرية ، بإضافة فلزات أخرى كمناصر سبيكة إليه ، لإنتاج السبائك التي يجري استخدامها في شتى الميادين .

وخفة وزن الألومنيوم لها أهمية كبيرة في جميع التطبيقات التي تتعرض للحركة . ويتيح الاقتصاد في الوزن ، إمكانية استخدام أحمال أكبر ، أو اقتصاد أكثر في التشغيل ، وكفاءة



(شكل ٣)

مستويات الانزلاق لإثارة الألومنيوم يتضح من الشكل أن هذا النمط البلوري (المكعب متمركز الوجه) يتمتع بأكثر عدد متاح من مستويات الانزلاق القطرية (١٢ ، ٠ ، ١)



(شكل ٢)

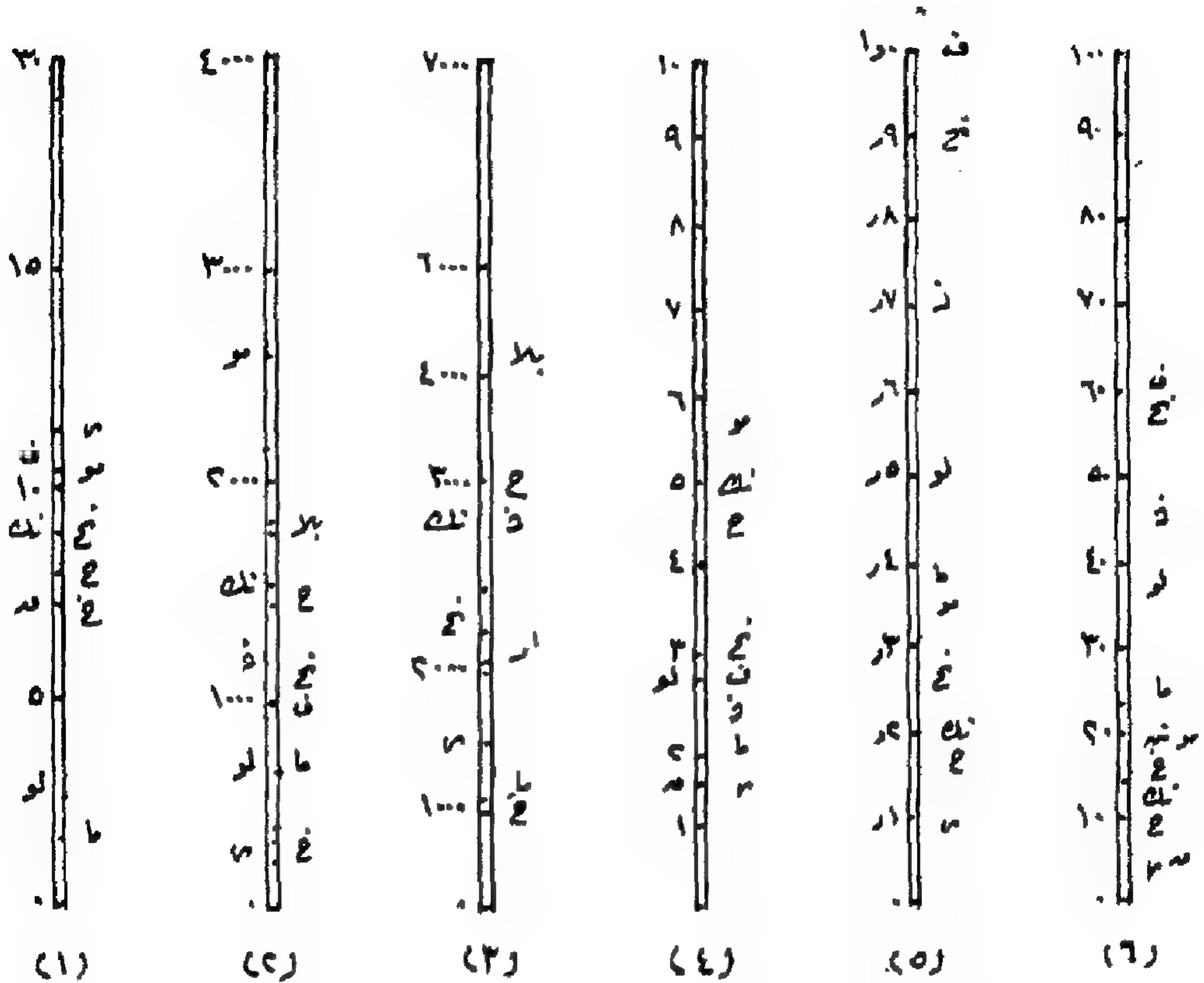
النسق البلوري للألومنيوم ، مكعب متمركز الوجه

أعلى في أداء الأجزاء المتحركة ، كما لا يتعرض من يعمل يدويا بأدوات من الألومنيوم ، للإجهاد بسرعة .

وبسبب خفة وزن الألومنيوم ، فإن الموصلية الكهربائية لوحدة الكتلة من الألومنيوم النقي ، تبلغ ٢١,٢٩٪ مقارنة بمثلتها للنحاس المخمر ، ولذلك فهي عالية ، وتفوق غيرها لأي فلز آخر . وتنخفض الموصلية الكهربائية للألومنيوم بعض الشيء ، بإضافة بعض العناصر السبكية إليه .

ويتميز الألومنيوم بموصلية عالية للحرارة ، ولكنها تقل قليلا بإضافة عناصر سبكية إليه .
وللألومنيوم التي معامل تمدد حرارى يبلغ ضعف المعاملات الحرارية للمعادن الحديدية ،
ويزيد قليلا على مثيله للنحاس وسبائكته .

ولمعظم العناصر السبكية التي تضاف إلى الألومنيوم ، تأثير ضئيل على معامل تمدده الحرارى .
ولكن إضافة نسبة عالية - نسبيا - من السيليكون ، تعمل على إنقاص قيمة هذا المعامل إنقاصا ملموسا .
ويوضح الشكل (٤) مقارنة لوضع الألومنيوم من حيث خصائصه بين أقرانه من الفلزات الأخرى .



(شكل ٤)

مقارنة بين الخواص الطبيعية الأساسية للألومنيوم مع غيره من الفلزات الأخرى
١ - الكثافة عند ٢٠°م (جم / سم^٣)
٢ - درجة الانصهار °م
٣ - درجة الغليان °م
٤ - الصلادة بالتدريج العشري
٥ - الموصلية الكهربائية عند ٢٠°م أوم-١ سم-١
٦ - الموصلية الحرارية ما بين صفر ، ١٠٠°م كالورى / سم / سم^٢ / م / ث .

$$\frac{\text{وزن ذرة العنصر}}{\text{وزن ذرة الهيدروجين}} = \text{الوزن الذرى لعنصر}$$

*** انظر الملحق رقم (٧)

ويبين الجدول (١) خواص الألومنيوم الفلزي (نسبة الألومنيوم ٩٩,٩٩٦٪ على الأقل) ، كما يبين الجدول (٢) التركيب الذري والبلوري للألومنيوم الفلزي .

جدول (١)

خواص الألومنيوم الفلزي (على النقاوة)

٧٢٤٠ كجم/م ^٢	معامل المرونة
٢٧١٠ كجم/م ^٢	معامل الجسوة
٠,٣٣	نسبة « بواسون »
٨٥-٧٥	العاكسية للضوء الأبيض (%)
٩٥-٨٥	العاكسية للحرارة (%)
٦-١٠×٠,٨٥	التأثرية المغنطيسية
٢,٤٤ ميكرو أوم/سم ^٣	المقاومة الكهربائية عند صفر °م
٢,٦٧ ميكرو أوم/سم ^٣	المقاومة الكهربائية عند ٢٠ °م
٦٤,٦	الموصلية الكهربائية الحجمية عند ٢٠ °م (كنسبة مئوية من النحاس المحمر)
	الموصلية الكهربائية الكتلية عند ٢٠ °م (كنسبة مئوية من النحاس المحمر)
٢١٢,٩	المكافئ الكهروكيميائي
٠,٣٣٥٤ جرام/أمبير. ساعة	الجهد الإلكترودى عند ٢٥ °م
١,٦٩ فولت	نقطة الانصهار
٠٦٥٨ °م	نقطة الغليان
٠١٨٠٠ °م	الموصلية الحرارية (من صفر إلى ١٠٠ °م)
٠,٥٢ كالورى/سم ^٢ /م/ثانية	حرارة الاحتراق
٣٨٠,٠٠٠ كالورى/جرام جزيئى	الحرارة الكامنة للانصهار
٩٣ كالورى / جرام	الحرارة الكامنة للتصعيد (محسوبة نظريا)
٢٠٠٠ كالورى / جرام	الانكماش فى الحجم من حالة الانصهار إلى الحالة الصلبة عند درجة الانصهار (%)
٦,٧	الانكماش فى الحجم من حالة الانصهار إلى الحالة الصلبة عند ٢٠ °م (%)
١١,٩	الانكماش فى الحجم من الحالة الصلبة عند نقطة الانصهار إلى ٢٠ °م (%)
٥,٦	

جدول (٢)

التركيب الذري والبلوري للألومنيوم عالي النقاوة

لو	الرمز الكيميائي
١٣ +	الشحنة الكهربائية للنواة
١٣	العدد الذري
٣ (٨) (٢)	ترتيب الإلكترونات داخل الذرة
٣	التكافؤ
٢٦,٩٧	الوزن الذري
١٠,٥ سم ^٣ /جرام ذري	الحجم الذري
لا توجد	النظائر
مكعب متمركز الوجه	التركيب البلوري
٤,٠٤ × ١٠ ^{-٨} سم	طول ضلع الشبكة البلورية

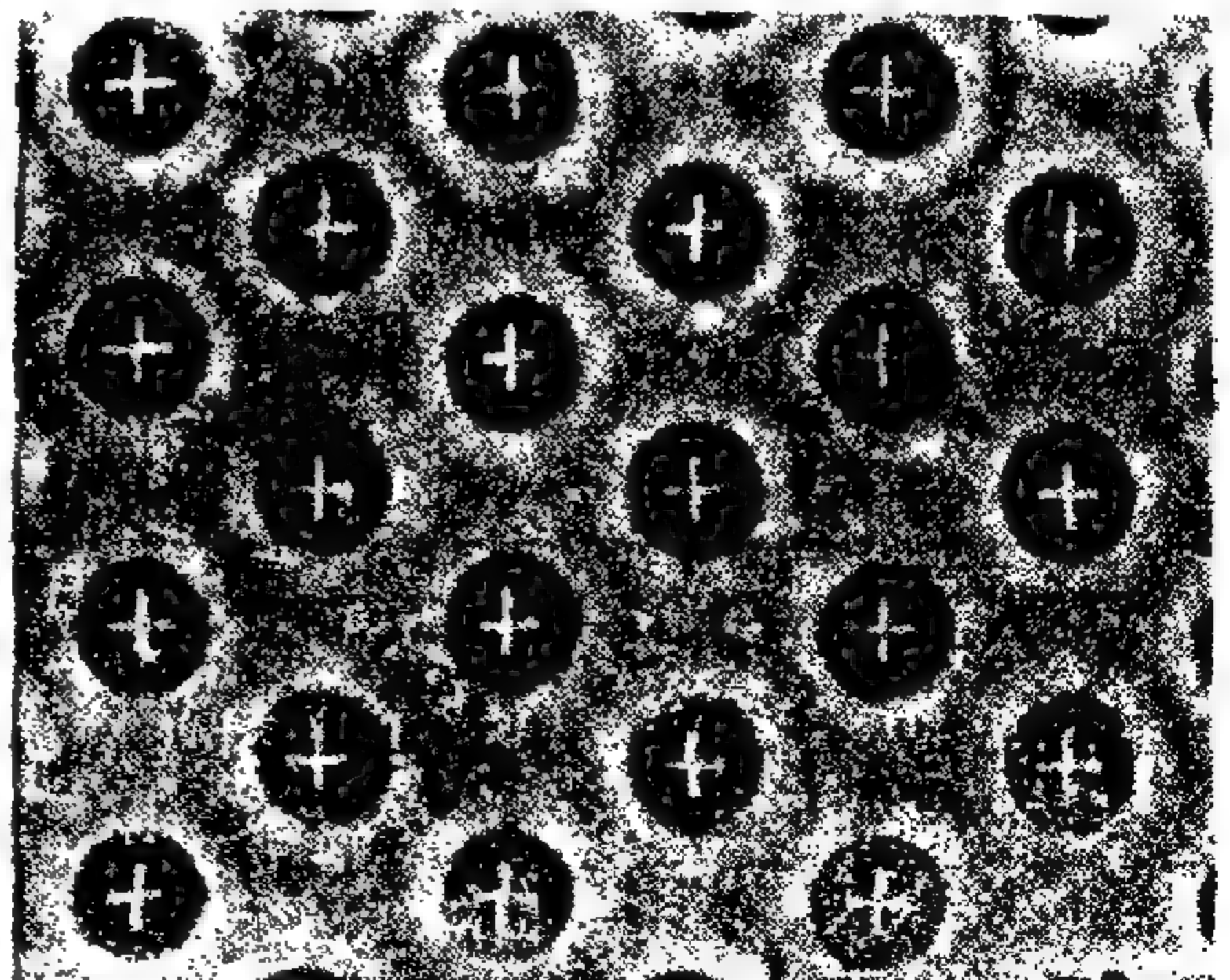
الخواص الكيميائية :

* التأكسد الجوي : للألومنيوم الفلزى مقدرة هائلة على التأكسد لحظيا فور تعرضه للهواء الجوي ، مكونا طبقة رقيقة من الأكسيد المتماثل الصلد ، تملأ سطحه اللامع فتتلفى بريقه . وتقوم هذه الطبقة من الأكسيد ، بحماية ووقاية الفلز من المؤثرات الخارجية ، وينفرد الألومنيوم بهذا السلوك ، ولا يشبه فيه غيره من الفلزات .

* التآكل الجلفاني : ويعرف أيضا بالتآكل الكهروكيميائي، وينشأ بصفة عامة نتيجة لتولد تيار كهربائي يبدأ في السريان عند حدوث تفاعل بين المعدن والإلكترونات المحيط به . وتتكون الشبكة البلورية للمعدن ، من أيونات موجبة الشحنة (كاتيونات) موجودة بأركان الشبكة البلورية ، وإلكترونات حرة متحركة تسبح في كل حجم المعدن (كما في الشكل ه) . ومن الممكن أن تنفصل الكاتيونات عن سطح المعدن ، وتنتقل إلى الوسط المجاور ، أى الإلكترونات .

(شكل ه)

تركيب الألومنيوم ، وهو مثل تركيب جميع الفلزات ، يتألف من أيونات موجبة الشحنة تعرف بالكاتيونات ، يشار إليها في الشكل بالرمز + وتقع على أركان الشبكة البلورية ، وتحاط بسحابة من الإلكترونات الحرة التى تسبح في كل حجم المعدن



وفرق الجهد الناشئ* ، عند سطح تلامس المعدن مع الإلكتروليت ، وهو الدال على نزعة الفلز للذوبان ، يسمى « الجهد القطبي » وتتوقف قيمته أساسا على تركيب الإلكتروليت .

ويحدد الجهد القطبي للفلزات تجريبيا ، مقيسا بالمقارنة بجهد الهيدروجين الذي اعتبر مساويا للصفر . ويبين الجدول (٣) الجهد القطبي لبعض الفلزات مقاسا بالنسبة للقطب الهيدروجيني . ومن الجدول نرى أن الفلزات الموجودة فوق الهيدروجين تكون ذات جهد موجب ، ولذلك فهي صعبة الذوبان ، في حين أن المعادن الموجودة تحت الهيدروجين تكون أكثر قابلية للذوبان ، كلما كان جهدها السالب أكبر . وهذا هو السبب في أن المعادن النقية ، والسبائك وحيدة الصنف ، تقاوم التآكل الكهروكيميائي جيدا ، أما السبائك التي تتكون بنيتها من عدة عناصر لها جهود مختلفة ، فهي تتعرض للتآكل الكهروكيميائي بسهولة ، وسرعان ما تبدأ في التدهور والانحيار ، إذ يمكن اعتبارها مكونة من خلايا كهربائية متناهية الصغر ، متعددة الأقطاب . كما أن الأجزاء التي تصنع من عدة مواد معدنية مختلفة الجهود ، هي في الواقع خلايا كهربائية متناهية الصغر ، حيث يكون المعدن المنخفض الجهد هو الأنود (المصعد) ويتآكل ، بينما لا يتآكل المعدن الأعلى جهدا لقيامه بدور الكاثود (المهبط) .

جدول (٣)

القيم القياسية للجهد القطبي لبعض الفلزات

العنصر	الجهد العادي بالنسبة للهيدروجين	العنصر	الجهد العادي بالنسبة للهيدروجين
الذهب	+ ١٥٠	الكوبلت	- ٢٧
الزئبق	+ ٨٦	الحديد	- ٤٣٩
الفضة	+ ٨٠	الكروم	- ٥١
النحاس	+ ٣٣٤	الزنك	- ٧٦٢
البرموت	+ ٢٢١	المنجنيز	- ١
الأنثيمون	+ ٢٠٠	الألومنيوم	- ١٣
الهيدروجين	صفر	المغنسيوم	- ١٥٥
الرصاص	- ١٢٧	الصوديوم	- ٢٧١
القصدير	- ١٣٦	الكالسيوم	- ٢٧٦
النيكل	- ٢٣	البوتاسيوم	- ٢٩٢

ويبين الجدول (٤) الجهد القطبي لبعض الفلزات والسبائك ، مقيسا في محلول لكلوريد الصوديوم . وقد اختير هذا المحلول هنا لأهميته في الحياة العملية ، وليكون مؤشرا لمسلك الفلز وسبائكه من حيث التآكل الجلفاني ، وكذلك ليعطى فكرة عن وضعها بالنسبة لبعض الفلزات والسبائك الأخرى .

جدول (٤)
الجهد القطبي لبعض الفلزات والسبائك
مقيساً في محلول لكلوريد الصوديوم (-)

الجهد بالقولت (٢)	الفلز أو السبيكة *
١,٧٣ -	المغنسيوم
١,٠٠ -	الزنك
٠,٩٦ -	سبيكة الألومنيوم ١٨ د (للمسبوكات)
٠,٨٧ -	سبيكة الألومنيوم ١٦ د (للمسبوكات)
٠,٨٧ -	سبيكة الألومنيوم ١٤ د (للتشكيل)
٠,٨٥ -	الألومنيوم الفلزي (عالي النقاوة)
٠,٨٥ -	سبيكة الألومنيوم ١٢ د (للتشكيل)
٠,٨٣ -	سبيكة الألومنيوم ب (ألومنيوم نقي تجارياً لأغراض التشكيل)
٠,٨٣ -	سبيكة الألومنيوم ١٢ د (للمسبوكات)
٠,٨٢ -	الكاديوم
٠,٨١ -	سبيكة الألومنيوم ٢١ د (للمسبوكات)
٠,٧٨ -	سبيكة الألومنيوم ٢٠ د (للمسبوكات)
٠,٧٠ -	سبيكة الألومنيوم ١٣ د (للمسبوكات)
٠,٦٨ -	سبيكة الألومنيوم ٦ د (للتشكيل)
٠,٦٧ -	الصلب الطري
٠,٥٥ -	الرصاص
٠,٤٩ -	القصدير
٠,٢٨ -	النحاس الأصفر (سبيكة من النحاس والزنك بنسبة ٦٠، ٤٠ ٪)
٠,٢٠ -	النحاس
٠,١٥ -	الصلب المقاوم للصدأ (٨-١٨)
٠,١٠ -	معدن مونيل (سبيكة أساسها النحاس والنيكل)
٠,٠٨ -	الفضة
٠,٠٧ -	النيكل
٠,٠٤ -	الأنكوبل (سبيكة من النيكل والكروم والحديد)

* الأرقام والرموز الملحقة بسبائك الألومنيوم ، يقتصر تداولها في هذا الكتاب فقط ، وتدل على سبائك بتركيب كيميائي معين ، ويمكن الرجوع إلى الباب الخامس لمعرفة التركيب الكيميائي لسبائك الألومنيوم .

(١) عند اقتران فلزين سويا في مجاويل موصل ، فإن الفلز الذى يكون جهده القطبى أكثر سالبة فى هذا المحلول ، يكون بمثابة المصعد بالنسبة للفلز الآخر ، ومن ثم فهو يميل للذوبان فى المحلول . وفى مثل هذه الحالة ، يتكون ما يشبه المرمك ، حيث يبدأ تيار كهربائى فى التسريان من الفلز الأكثر سالبة خلال المحلول إلى الفلز الآخر .

(٢) مقيسا فى محلول عيارى (٥,٨٥ ٪) من محلول كلوريد الصوديوم يحتوى على ٠,٣ ٪ من فوق أكسيد الهيدروجين (١,٠٥ عيارى) .

ويحدث تآكل للألومنيوم عند تلامسه لفترة كافية مع غيره من الفلزات التى تليه فى السلسلة الكهروكيميائية ، ويتم ذلك فى وجود وسط إلكترولى . وعليه فإنه يمكن مقاومة هذا التآكل الجلفثانى ، عن طريق فصل الأسطح المتجاورة باستخدام دهان وقائى مثلا ، وبالمحافظة على جفاف الأسطح المتلامسة ، أو بإزالة الكهرباء للأسطح ، أو بإزالة المواد الملامسة للألومنيوم بمسحوق الألومنيوم ، وذلك حتى ينعدم أى اختلاف فى الجهد القطبى ، بين سطحى الفلزين المتجاورين .

• التآكل الكيميائى :

يمكن تقسيم التآكل الكيميائى إلى ثلاثة أنواع : تآكل منتظم ، وتآكل موضعى ، وتآكل بين البلورات .

(أ) التآكل المنتظم :

وتبدو مظاهره فى تآكل منتظم للمعدن يشمل كل سطحه ، ويحدث ذلك فى المعادن أو السبائك وحيدة الصنف (المعادن النقية ، والمحاليل الجامدة ، والمركبات الكيميائية) .

(ب) التآكل الموضعى :

ويتآكل أثناءه المعدن فى مواقع متفرقة من السطح ، ويحدث هذا النوع من التآكل أساسا فى السبائك متعددة الأصناف ، لكنه يحدث أيضا فى السبائك وحيدة الصنف ، وبدرجة أقل فى المعادن النقية تجاريا . كما يحدث بسبب الحدوش والحزوز السطحية ، لنشوء ظروف مواتية لتكوين خلايا كهربائية متناهية الصغر .

(ج) التآكل بين البلورات :

ويتميز بانتشار التآكل على حدود الحبيبات ، وترجع خطورة هذا النوع من التآكل ، إلى أنه يتغلغل فى المعدن دون أن يظهر أى تغير ملموس على السطح ، وتعرض سبائك الألومنيوم لهذا النوع من التآكل ، إذ تنشأ أصناف (أطوار) حديثة التكون ، وتنتشر على حدود الحبيبات وداخلها ، وتهىء ظروفًا تشجع على حدوث مثل هذا النوع من التآكل .

ويمكن الرجوع إلى الملحق (١) لمعرفة تأثير الكيماويات المختلفة على سبائك الألومنيوم ، وقد جمعت هذه الإرشادات استنادا إلى الخبرة العملية ، أو هي ثمرة تجارب معملية ، وتهدف إلى إعطاء فكرة مبدئية في هذا المجال . ولكن يجب تدعيمها بالتجارب المتواصلة ، لتعزيز صلاحيتها ، إذ تتباين ظروف الاستخدام على نحو واسع . فثلا الشوائب (سواء المعروفة منها أو غير المعروفة) في الكيماويات المعقدة ، قد تسبب التآكل .

وهناك مشبطات للتآكل الكيميائي كسيليكات الصوديوم ، أو كرومات الصوديوم ، يؤدي استخدامها إلى التوسع في استعمال الألومنيوم .

الباب الثاني

انتاج الألومنيوم

صناعة الألومنيوم من الصناعات المعدنية مرتفعة التكاليف ، وتعتمد على أساليب تكنولوجية متقدمة . كما أن إنتاج الألومنيوم يتوقف أساسا ، وبصفة مباشرة ، على توافر الطاقة الكهربائية ، فلا يمكن أن تقام صناعة للألومنيوم في بلد يفتقر إلى الكهرباء ، أو لا تتوفر فيه الطاقة الكهربائية بمر زهيد ، فالألومنيوم مدين للكهرباء بمكانته الرفيعة ، كمادة هندسية لها شأنها .

مراحل إنتاج الألومنيوم

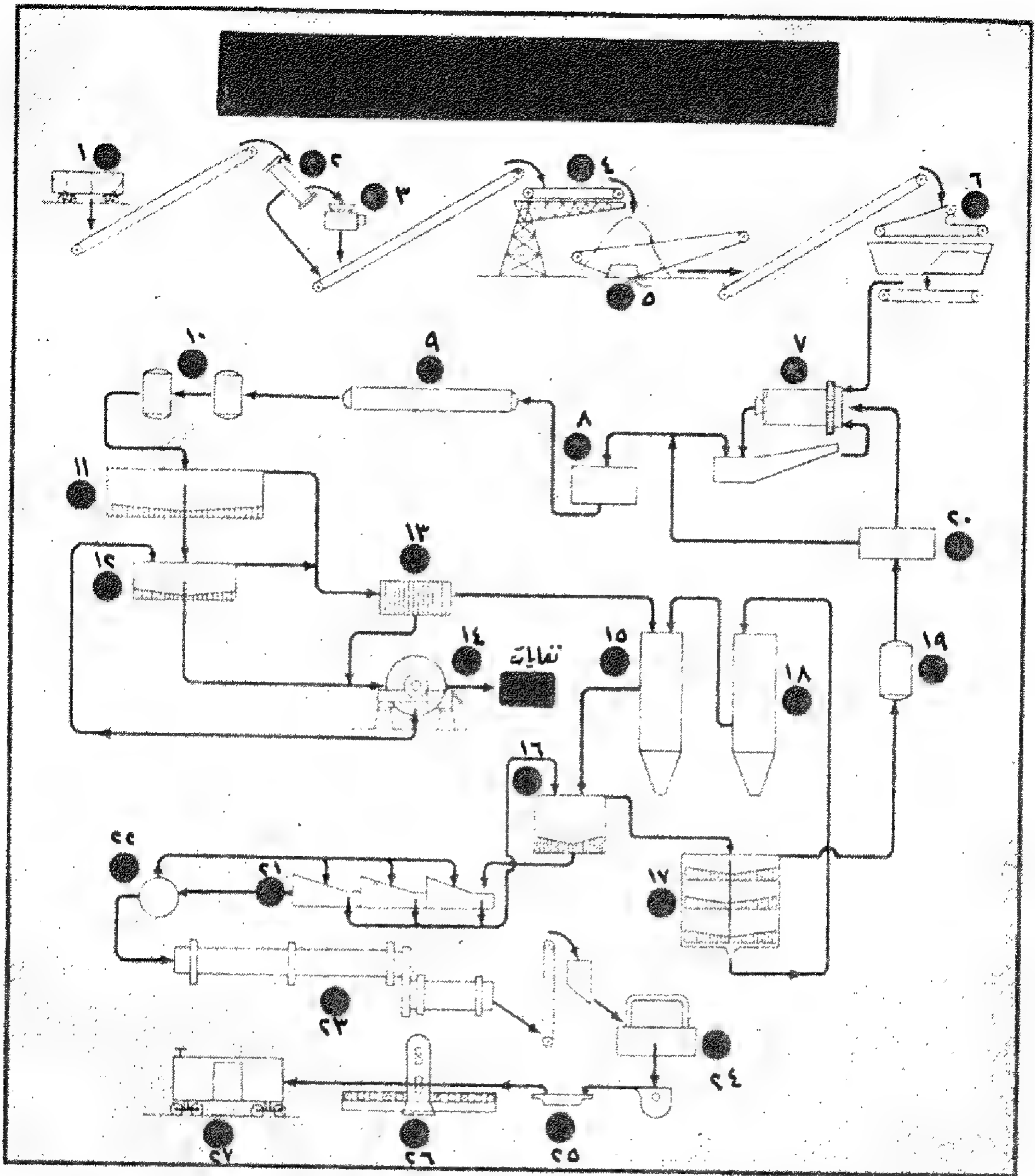
يمر إنتاج الألومنيوم بمراحل متعددة ، وهي تختلف جذريا عن مراحل إنتاج غيره من الفلزات الأخرى ، فصنع الألومنيوم يختلف اختلافا جوهريا عن مصنع للحديد والصلب ، أو مصنع للرصاص ، أو النحاس . كما أن طريقة استخلاص هذا الفلز تختلف كلية عن طريقة استخلاص الفلزات الأخرى .

وتبدأ أولى مراحل الإنتاج ، بتجهيز خام الألومنيوم بعد تعدينه وإعداده ليكون مركزا ، حتى تنخفض تكاليف استخلاص الفلز وتصبح اقتصادية . ويتم ذلك بعمليات تكسير وطحن ، ثم تصنف أحجامه ، وتركز الأحجام الناعمة بطرق التعويم ، أو طرق التركيز الأخرى ، وعندئذ يتم الحصول على الحام مركزا ، ويكون معدا للمرحلة التالية ، وهي الحصول على أكسيد الألومنيوم (الألومينا) بصورة تكاد تكون نقية ، استمدادا لصهره ، ويجرى ذلك بمعالجة الحام المركز في أوعية هاضمة ، وبلاستعانة بعوامل كيميائية ، تذيب الألومينا دون غيرها .

وهناك ثلاث طرق مختلفة يمكن تطبيقها للحصول على الألومينا بصورة نقية : الطريقة الأولى كهروحرارية ، أي باستخدام الكهرباء في توليد كمية حرارة هائلة ، تكفي لإتمام تفاعلات كيميائية ، ينفرد خلالها الألومنيوم ، وتعتمد الطريقتان الأخريان على الخاصية الترددية للألومينا ، فالألومينا أكسيد أمفوتوري ، أي متردد ذو وجهين ، يتفاعل مع الحمض كقاعدة ، كما يتفاعل مع القاعدة كحمض ، وأكثر الطريقتين الحمضية والقلوية انتشارا ، هي الطريقة القلوية .

وبين الشكل (٦) الخطوات التوضيحية للمراحل المختلفة ، إبتداء من الحام ، حتى الحصول على كتل من الألومنيوم النقي .

وتتضمن هذه الخطوات عمليات ميتالورجية فيزيقية وكيميائية ، إبتداء من البند (١) حتى البند (٢٣) (في الشكل) . ويمثل البندان (٩ ، ٢٤) فقط العمليات الميتالورجية الكيميائية



(شكل ٦) المراحل المتعاقبة للعمليات الميـتالورجية الفـيزيـقية والكيميائية للحصول على كتل الألومنيوم ابتداء من خام البوكسيت :

- | | | |
|----------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| ١ - عربات سكك حديدية | ٢ - منخل (هزاز) | ٣ - طاحونة المطارق (الشواكيش) |
| ٤ - ناقل | ٥ - المخزون الاحتياطي وخط السحب | ٦ - توزيع الخام على طبقات في البناكر |
| ٧ - طاحونة (الكور) ومصنف | ٨ - صهريج الردغة (الطينة) | ٩ - هاضمات بخارية |
| ١٠ - صهاريج أعتاق الضغط | ١١ - مغلفات الطينة الحمراء | ١٢ - مغلفات |
| ١٣ - مرققات | ١٤ - مرشحات | ١٥ - مرسبات |
| ١٦ - مرسبات مائية | ١٧ - مغلف أسطوانى | ١٨ - صهريج |
| ١٩ - مبخر رباعى التأثير | ٢٠ - صهريج تخزين المحلول الضعيف | ٢١ - مصنف ثلاثى المراحل |
| ٢٢ - مزيلات المساء | ٢٣ - قنن دوارة ومبردات | ٢٤ - خلايا إلكتروليتية |
| ٢٥ - كتل الألومنيوم | | |

في هذه المراحل ، حيث تستخدم أوعية هاضمة (٩) تذيب الألومينا في مركب كيميائي يذوب في الماء ، والخلايا الإلكتروليتية (٢٤) التي تستخدم في التحليل الكهربائي للألومينا للحصول على الألومنيوم في صورته النقية .

ويوجد الأكسيد المتيمى في صورتين : هيدرات ثلاثية (تحتوي على ثلاثة جزيئات من الماء) ، وهيدرات أحادية (جزيء واحد من الماء) . ويمكن التعبير عن الصورتين في صيغة كيميائية كما يلي :

ثلاثي الهيدرات : $3\text{H}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ، ويمكن التعبير عنه كهيدروكسيد في الصيغة $\text{Al}(\text{OH})_3$ ، حيث يمكنه التفاعل مع الحمض كقاعدة لوجود الشق (أيد-) ، كما يمكن التعبير عنه في الصيغة $\text{Al}(\text{OH})_3$ (حمض الأرتو ألومينيك) ، حيث يمكنه التفاعل مع القاعدة لوجود الشق (يد+) .

أحادي الهيدرات : $\text{H}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ، $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ، ويمكن التعبير عنه كهيدروكسيد في الصيغة $\text{Al}(\text{OH})_3$ (حمض الميتا ألومينيك) ، حيث يمكنه التفاعل مع القاعدة لوجود الشق (يد+) . وتتجلى السمة الترددية في التفاعلين الآتيين :



كما يتفاعل أكسيد الألومنيوم Al_2O_3 ، $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (ن : عدد جزيئات ماء التبلور) عند درجات حرارة مرتفعة مع المركبات الكيميائية المختلفة لفلزات الأتلا الأرضية ، مكونا الألومينات المناظرة للفلز (ميتا ألومينات) . ويستفاد من هذه الخواص في اتباع الطرق المختلفة لإنتاج الألومينا .

وفي الطريقة الحمضية لإنتاج الألومينا ، يعالج الخام بمحلول أحد الأحماض المعدنية (حمض الكبريتيك H_2SO_4 ، أو حمض الهيدروكلوريك HCl ، أو غيرهما) ، وينتج عن ذلك ملح الألومنيوم المناظر للحمض ، وترسب الكتلة الأساسية للشوائب في محلول الحمض دون أن تتذوب فيه . وبعد فصل الشوائب غير الذائبة ، يحلل محلول ملح الألومنيوم ، لفصل هيدروكسيد الألومنيوم ، حيث يجري تكليسها للحصول على الألومينا .

وفي هذه الطرق الحمضية ، لا تذوب السليكا في محلول الحمض المعدني ، ولذلك تنفصل الألومينا عن السليكا بسهولة ، وبدرجة كافية نسبيا . إلا أن أكاسيد الحديد والتيتانيوم تنتقل جزئيا إلى المحلول مع أكسيد الألومنيوم ، حيث يصعب فصلها للحصول على الألومينا بصورة نقية . ويجب أن تجري الطرق الحمضية في أوعية تصنع من مواد تقاوم تأثير الأحماض ، ولذلك فهي باهظة التكاليف ، هذا إلى جانب صعوبة وتعقيد عملية استعادة الأحماض المعدنية المستخدمة ، مما يحد من تطبيق هذه الطرق الحمضية على المستوى الصناعي .

وفي الطرق القلوية يعالج الخام بهيدروكسيد أو كربونات الصوديوم ، وقد يضاف الجير أو الجير الجيرى في بعض الأحيان . ونتيجة لذلك ، تتكون ألومينات الصوديوم التي يمكن فصلها بسهولة لذوبانها في الماء دون غيرها ، ثم بتحللها مرة أخرى يمكن الحصول على الألومينا نقية .

وفي حالة معالجة النيفيلينات للحصول على ألومينات تذوب في الماء ، يكتفى بمعالجة هذا الخام بالجير فقط . ثم يفصل هيدروكسيد الألومنيوم بتحويل ألومينات الصوديوم ، حيث يمكن الحصول على الألومينا ، أما المحلول الكاوي المتبقى فيعاد لاستخدامه مرة أخرى .

وفي الطرق القلوية ، تنفصل بسهولة أكاسيد الحديد والتيتانيوم والكلسيوم التي كانت موجودة في الخام ، وذلك لعدم ذوبانها في المحلول ، أما السيليكا الموجودة في الخام فتتفاعل مع المحلول الكاوي مسببة تعقيد العملية ، كما تؤدي إلى فقد كمية لا بأس بها من الشق الكاوي والألومينا ، بالإضافة إلى تدهور قيمة الألومينا الناتجة . ولذلك لا تصلح الطرق القلوية لاستخلاص الألومينا من خام البوكسيت ، إلا إذا احتوى على نسبة ضئيلة من السيليكا .

وفي هذه الدراسة ، نقسم المراحل الصناعية المختلفة التي تتعاقب بعضها إثر بعض ، للحصول في النهاية على كتل من الألومنيوم النقي على النحو الآتي :

- ١ - خامات الألومنيوم .
- ٢ - العمليات الميتالورجية الفيزيائية في صناعة الألومنيوم .
- ٣ - إنتاج المواد المساعدة في صناعة الألومنيوم .
- ٤ - إنتاج الألومينا .
- ٥ - استخلاص الألومنيوم .
- ٦ - تنقية الألومنيوم .

١ - خامات الألومنيوم

الألومنيوم أكثر الفلزات انتشارا في القشرة الأرضية على الإطلاق ، فقشرة الكرة الأرضية التي تضرب في أعماقها لمسافة تباع ١٦ كيلومترا ، تحتوي على ٨٨ من وزنها من الألومنيوم ، وهو يبلغ من الوفرة ضعف الحديد . ومن الغريب حقا أن يكون الألومنيوم بهذه الوفرة ، ومع ذلك فقد ظل مجهولا ، لم تمتد إليه الأيدي لاستخلاصه ، وإشراكه في شتى جوانب الحياة العملية . ويعزى السبب في ذلك ، إلى أن الألومنيوم - بشرائه المتناهية للأكسجين - لا يوجد في صورة نقية ، بل يوجد في مركبات كيميائية بالغة التعقيد ، لا يمكن انتزاعه منها بسهولة . ولقد ظل الأمر كذلك حتى تمكن كل من شارل مارتن هول ، الذي كان يجرى تجاربه في كوخه الخشبي المتواضع بإحدى الولايات الأمريكية ، وبول إيرو على الطرف الآخر من المحيط الأطلسي

بفرنسا ، في وقت واحد ، من استخلاص الألومنيوم من مركباته ، بطريقة أصبحت حجر الأساس للصناعة المتطورة لهذا الفلز الهام ، مما مكن من الحصول عليه بأسعار رخيصة .

وعلى وجه العموم ، فإن جميع الصخور والطفلة المعروفة تحتوي على هذا العنصر ، وهناك أنواع معينة من الطفلة الحمراء تحتوي على نسبة عالية من الألومينا (لو_٢أ_٣) . قد تبلغ ٦٠٪ .

وبينما العديد من مركبات الألومنيوم التي توجد في الطبيعة يكون معتما وغير جذاب ، فهناك بعض مركباته التي تتميز ببريق ولعان جذاب ، والتي تتألق وتحاكي الأحجار النفيسة ، فالياقوت الأحمر الدموي ، والصفيرى ، الذي له زرقة البحر ، والمقيق الأحمر ، والزمرد الأخضر ، ما هي إلا مركبات نلألومنيوم .

ولما كانت عمليات استخلاص الفلز من مركباته طويلة ومتشعبة ، لذلك فإنه من غير العمل استخلاص الألومنيوم من خاماته الفقيرة . وفي العادة يجري الاستفادة فقط من الخامات التي تحتوي على الألومينا بنسبة تتراوح بين ٥٠-٦٠٪ .

وأهم خامات الألومنيوم المعروفة في الوقت الحاضر هي :

البوكسايت ، والنيفيلين ، والألونايت ، والكاولين ، والطفل ، والسياناييت ، واللوسيت الكربوليت ، والأندلوسايت ، والكورندم .

وتوجد أكثر مركبات الألومنيوم متحدة بعنصر السيليكون كشائبة . وأحسن هذه الخامات هي البوكسايت الذي سمي على اسم المدينة « لى بوكس » التي تقع في جنوب فرنسا ، حيث تم اكتشاف الرواسب الأولى لهذه الخامات التي تستخدم حاليا للحصول على الألومنيوم اللازم للأغراض الصناعية .

البوكسايت :

أهم خامات الألومنيوم التي انتشر استخدامها على النطاق الصناعي انتشارا واسعا ، وهو حضور تتألف من عدة مركبات كيميائية : هيدروكسيد الألومنيوم (المادة الأساسية في البوكسايت) أكاسيد وهيدروكسيدات الحديد ، وبعض السليكات والكوارتز والكاولينات ومركبات التيتانيوم ، وكربونات الكلسيوم والحديد والمنجنيز ، بالإضافة إلى كميات ضئيلة من مركبات الصوديوم والزركونيوم والكروم والفوسفور والثانيوم والجاليوم وغيرها من العناصر . ويختلف التركيب الكيميائي للبوكسايت اختلافا بينا من خام لآخر .

وتعتمد نوعية أى خام معين من خامات البوكسايت على نسبتي الألومينا (لو_٢أ_٣) والسليكا ، وعلى الصيغة الميتالورجية لهيدروكسيدات الألومنيوم . وتزداد جودة البوكسايت بارتفاع نسبة الألومينا وانخفاض نسبة السليكا .

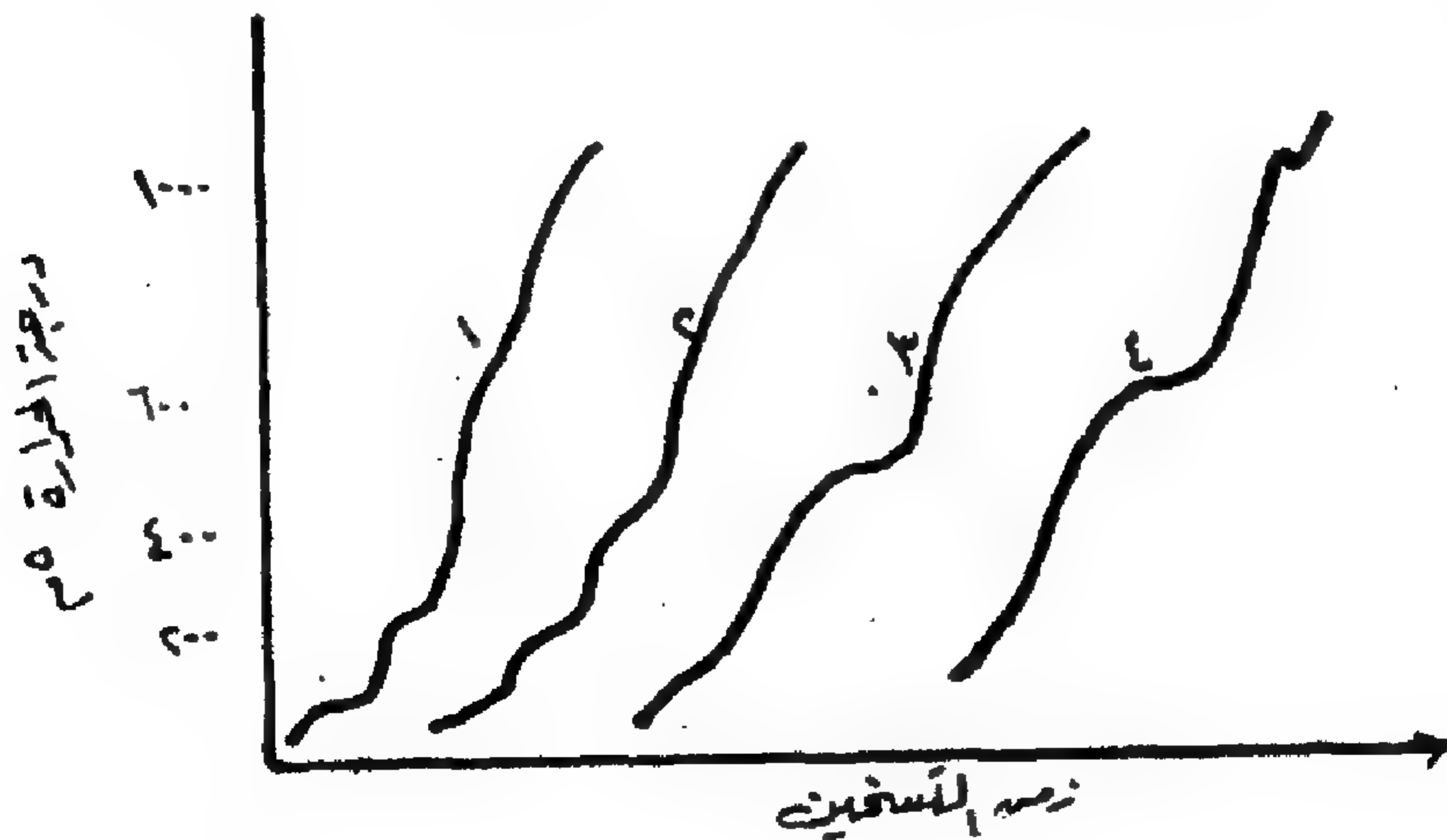
ويوجد البوكسايت بألوان مختلفة تتراوح بين الأبيض الناصع والأحمر القاني ، وفيما بين هذين اللونين ، يمكن أن نصادف بقية الألوان المعروفة . وأكثر أنواع البوكسايت انتشارا هي ذات اللون البني الغامق ، أو الأحمر المعتم (في لون الطوب الأحمر) . كما يتفاوت الوزن النوعي لأنواع البوكسايت من ١,٢ كما في البوكسايت المسامي الخش ، إلى ٣,٥ في أنواع البوكسايت

الذى يحتوى على نسبة عالية من الحديد والسليكون . وتتراوح صلادة أنواع البوكسيت من ٢ إلى ٧ (برينل) . وما يزيد من صعوبة اكتشاف خامة البوكسيت ، اختلاف أنواعه المختلفة بعضها عن بعض في المظهر الخارجى ، وفي الصفات الطبيعية ، ولكن البوكسيت يتميز بشبه الكبير بالطفل (الطين الفخارى) ، ولا يكون كتلة عجينية عند اختلاطه بالماء .

ويكن الاختلاف المينالورجى (المعدنى) للبوكسيت عن الطفل ، في أن الألومنيوم في الطفل يكون على شكل الكاولينايت لو٢ أم ، ٢ س أم ، ٢ يد٢ وما شابه من سليكات الألومنيوم ، في حين أن الألومنيوم في البوكسيت يكون على شكل هيدروكسيد الألومنيوم ، وأصنافه هي : البوهمائيت والدياسبور ، ولهما معاً صيغة كيميائية واحدة هي لو٢ أم ، يد٢ أ ، والجبسائيت وصيغته الكيميائية لو٢ أم ، ٣ يد٢ أ . وللصورة الميتالورجية لوجود الألومنيوم في البوكسيت أهمية كبيرة عند معالجة كل نوع من أنواع البوكسيت .

لهذا السبب تصنف الأنواع المختلفة من البوكسيت إلى : بوكسيت بوهمائى ، وبوكسيت دياسبورى ، وبوكسيت جييسائى ، وبوكسيت مختلط التركيب .

وهناك طريقة مبسطة يمكن استخدامها لتحديد الصورة الميتالورجية لهيدروكسيد الألومنيوم في البوكسيت ، وذلك بواسطة التحلل الحرارى بالتسخين ، لأن المركب الذى تحتوى صيغته الكيميائية على عدد أكبر من جزيئات ماء التبلور ، يسخن سريعاً عن ذلك المركب الذى يحتوى على عدد أقل من جزيئات ماء التبلور ، وقد وجد عملياً أن ماء التبلور في الجبسائيت يبدأ في الانفصال عند درجة حرارة ٢٠٢-٢٠٥°م ، وفي حالة الدياسبور عند ٥٠٩-٥٥٠°م ، أما في حالة الكاولينات فعند ٥٥٨-٥٦٠°م . ويصاحب هذه العملية امتصاص قدر من الطاقة الحرارية يؤدي إلى ثبات درجة الحرارة بعض الوقت ، كما في الرسم البياني في شكل (٧) .



(شكل ٧) منحنيات تسخين بعض مركبات الألومنيوم

- | | |
|---|---|
| ١ - الألوموجل لو٢ أم ، ن يد٢ أ | ٢ - الجبسائيت لو٢ أم ، ٣ يد٢ أ |
| ٣ - الدياسبور لو٢ أم ، ٤ يد٢ أ | ٤ - الكاولين |

النيفيلاين :

يمكن التعبير عن تركيبه بالصيغة الكيميائية :

(ص ، بو) Al_2O_3 ، Al_2SiO_5 ، Al_2SiO_5 . وهو في الواقع محفور طبيعية أشهرها الأباتايت ويجرى تركيز خام الأباتايت بطرق التعويم ، وأثناء ذلك يتخلف النيفيلاين مع البقايا . وفي أثناء عملية معالجة النيفيلاين للحصول على الألومينا ، يتم الحصول أيضا على كربونات الصوديوم وكربونات البوتاسيوم كنتائج ثانوية لخام النيفيلاين ، وتصل نسبة الألومينا في النيفيلاين بعد تركيزه إلى ٣٠٪ فقط ، وهي نسبة ليست عالية ، ولذلك فإنه لولا الحصول على كربونات الصوديوم وكربونات البوتاسيوم ، والانتفاع بالمخلفات كمادة أولية في صناعة الأسمنت ، لكانت الطريقة غير اقتصادية .

الألونايت :

مركب كيميائي يتألف من كبريتات الألومنيوم القاعدية ، بالإضافة إلى كبريتات البوتاسيوم وصيغته الكيميائية هي :

$\text{K}_2\text{Al}_2(\text{SO}_4)_4$ ، $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ، $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. وتصل نسبة الألومينا في هذا الخام إلى ٢١٪ ، وهي نسبة منخفضة جدا ، بينما تصل نسبة السليكا إلى ٤٢٪ وهي نسبة مرتفعة للغاية .

الكاولين والطفل :

من المعتقد أن الصيغة الكيميائية لهذه الخامات هي :

$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ، $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ، بالإضافة إلى بعض الشوائب الأخرى كالسليكا وأكاسيد الحديد والكلسيوم والمغنسيوم . وتنتشر خامات الكاولين انتشارا واسعا في الطبيعة ، ويمكن استخدامها في صناعة سبائك الألومنيوم مع السيليكون .

السيانايت :

يمثل الجزء الرئيسي في الخام السيانايتي ، ولاحتوائه على نسبة كبيرة من السليكا ، فهو لا يستخدم حتى الآن للحصول على الألومينا ، بل يستخدم للحصول مباشرة على سبائك الألومنيوم مع السيليكون .

٢- العمليات المبتلورة في الفيزيائية

في صناعة الألومنيوم

الحصول على عنصر الألومنيوم نقيًا من خاماته ، يجب أولاً تركيز الخامات المستخدمة حتى تكون عملية استخلاص الفلز مناسبة من الناحية الاقتصادية . ويتم ذلك بفصل بعض الشوائب (أو كلها إذا كان ذلك ممكناً) ، ثم إجراء عملية تؤدي إلى تفكك أو تحلل الخامات المعدنية إلى مكوناتها ومركباتها الكيميائية ، يلي ذلك الحصول على المركب الكيميائي للألومنيوم منفرداً

(المكون الألومنيوم) ، وعندئذ تقترب العملية من نهايتها الحاسمة ، وهي استخلاص الألومنيوم في صورته الفلزية الخالصة ، والتي تتم نتيجة عمليات كيميائية معقدة . والعمليات التي تتم خلالها معالجة خامة الألومنيوم بطريقة فيزيقية غير مصحوبة بتفاعلات كيميائية ، أي لا تكون مصحوبة بأية تفاعلات كيميائية ، تتناول جوهر المكون الألومنيوم ، تسمى « العمليات الميثالورجية الفيزيقية » . أما العمليات التي تتم بتفاعلات كيميائية ، فتسمى « العمليات الميثالورجية الكيميائية » .

ويمكن فصل بعض الشوائب من الخامات المعدنية ، بالاستفادة من التباين في خواصها الفيزيقية ، كالاختلاف في الأوزان النوعية ، والصلادة ، والذوبان في الماء ، أو بتأثير بعض العوامل الكيميائية على سطح الخامات ، التي تؤثر بدورها على قابلية المعدن للتبلل بالماء . وعادة ما تكون هذه العمليات الميثالورجية التي تهدف إلى تركيز الخامات المعدنية ، رخيصة التكاليف ، ولا تحدث أي تغيير في التركيب الكيميائي للمعدن ، كما أنها تكون من ناحية أخرى قاصرة عن استخلاص الألومنيوم بصورته الفلزية النقية .

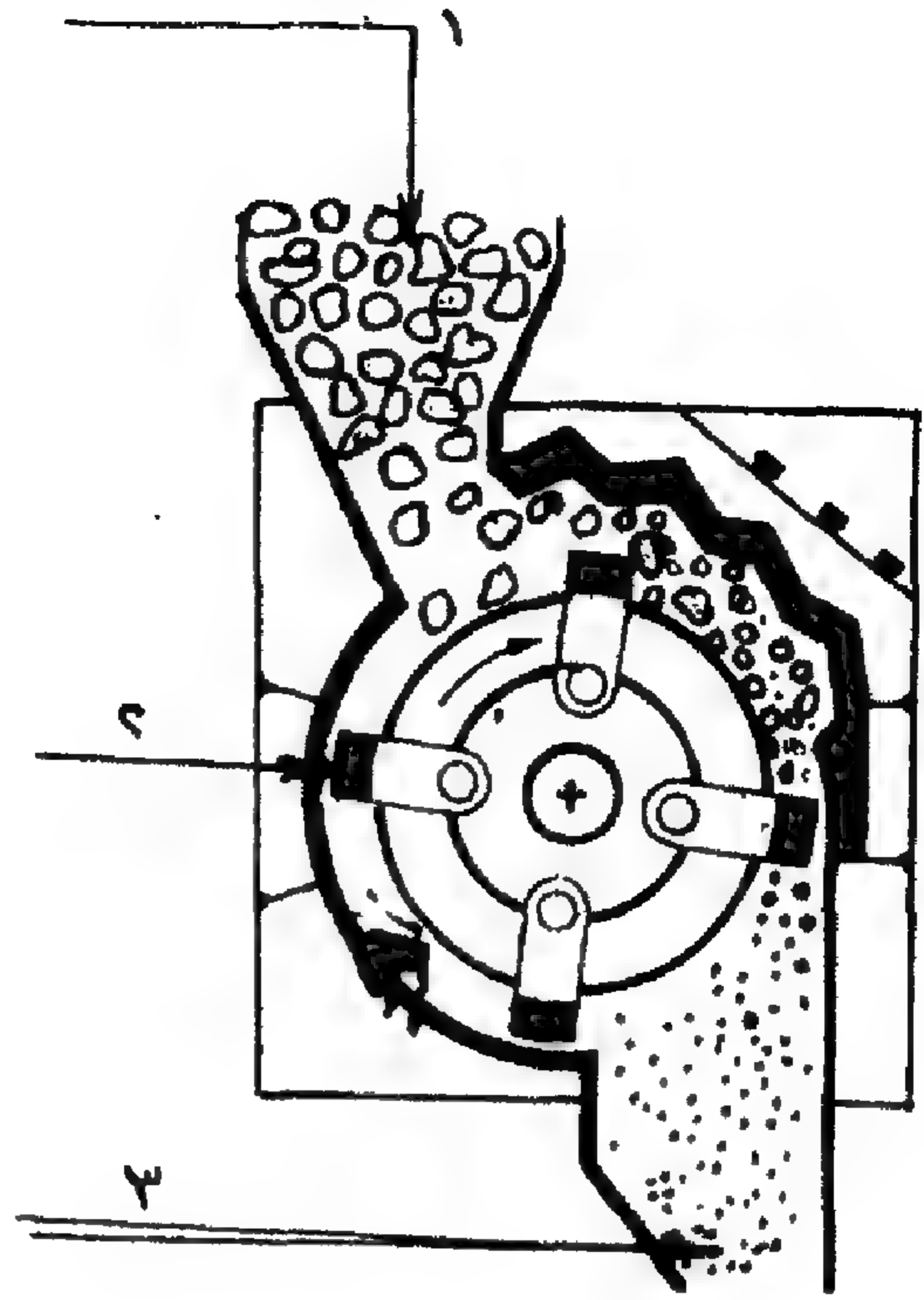
تركيز خامات الألومنيوم :

تتناول فيما يلي عمليات تركيز خامات الألومنيوم ، حتى تكون جاهزة لعمليات كيميائية لاحقة ، تسفر في النهاية عن الحصول على الفلز نقيًا .

تبدأ هذه العمليات الميثالورجية ، فور الحصول على الخامات المعدنية للألومنيوم في كتل كبيرة الحجم ، يجري تعدينها من مناجم تحت الأرض ، أو من مناجم مفتوحة على سطح الأرض . وفي كلتا الحالتين ، تثقب فتحة في الخامات المعدنية بالمنجم ثم توضع فيها شحنة متفجرة ، وبتفجيرها تتفكك الخامات المعدنية إلى كتل تتراوح مقاساتها بين ١٢٠٠ و ١٥٠٠ ملليمتر ، ولما كانت العمليات الميثالورجية تتطلب قطعًا دقيقة الحجم (قد تصل مقاساتها إلى ١٠٠ ملليمتر) من الخامات المعدنية ، لذلك فمن الضروري اختزال أحجام هذه الكتل الضخمة ، إلى الأحجام الدقيقة المطلوبة ، ويتم ذلك بواسطة الكسارات والطواحين ، وفيها يتم التكسير والطحن ، بواسطة الطرق ، أو الضغط المتتالي ، أو الاحتكاك .

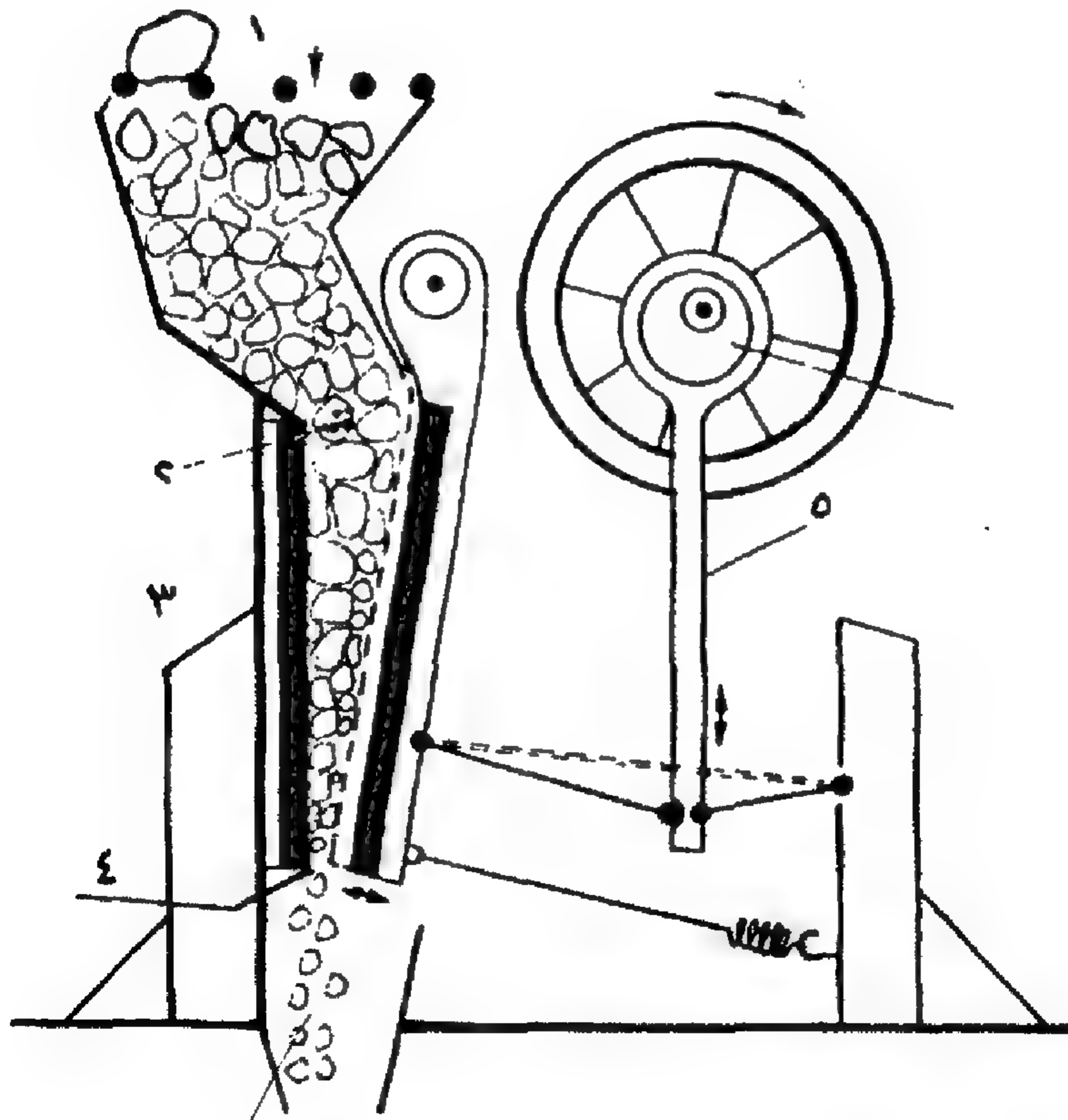
وتقوم الكسارات بتكسير كتل الخامات المعدنية ، كبيرة الحجم ، إلى أحجام متوسطة ، ثم تقوم الطواحين بعد ذلك بطحن هذه الأحجام المتوسطة ، إلى أحجام دقيقة .

وتستخدم الكسارة المطرقية أو الفككية ، لتكسير كتل الخامات المعدنية إلى أحجام صغيرة . ويوضح الشكل (٨) مقطعًا في كسارة مطرقية (قد تسمى في بعض الأحيان كسارة المطارق أو كسارة الشواكيش) ، وفيها يدور المحرك بسرعة تتراوح بين ٨٠٠ ، ١٠٠٠ دورة في الدقيقة . ويحدث التكسير نتيجة سقوط المطارق على الكتل وارتطامها بها ، وأيضًا نتيجة ارتداد هذه الكتل بعد اصطدامها بجدران الكسارة . ويوضح الشكل (٩) الكسارة الفككية .



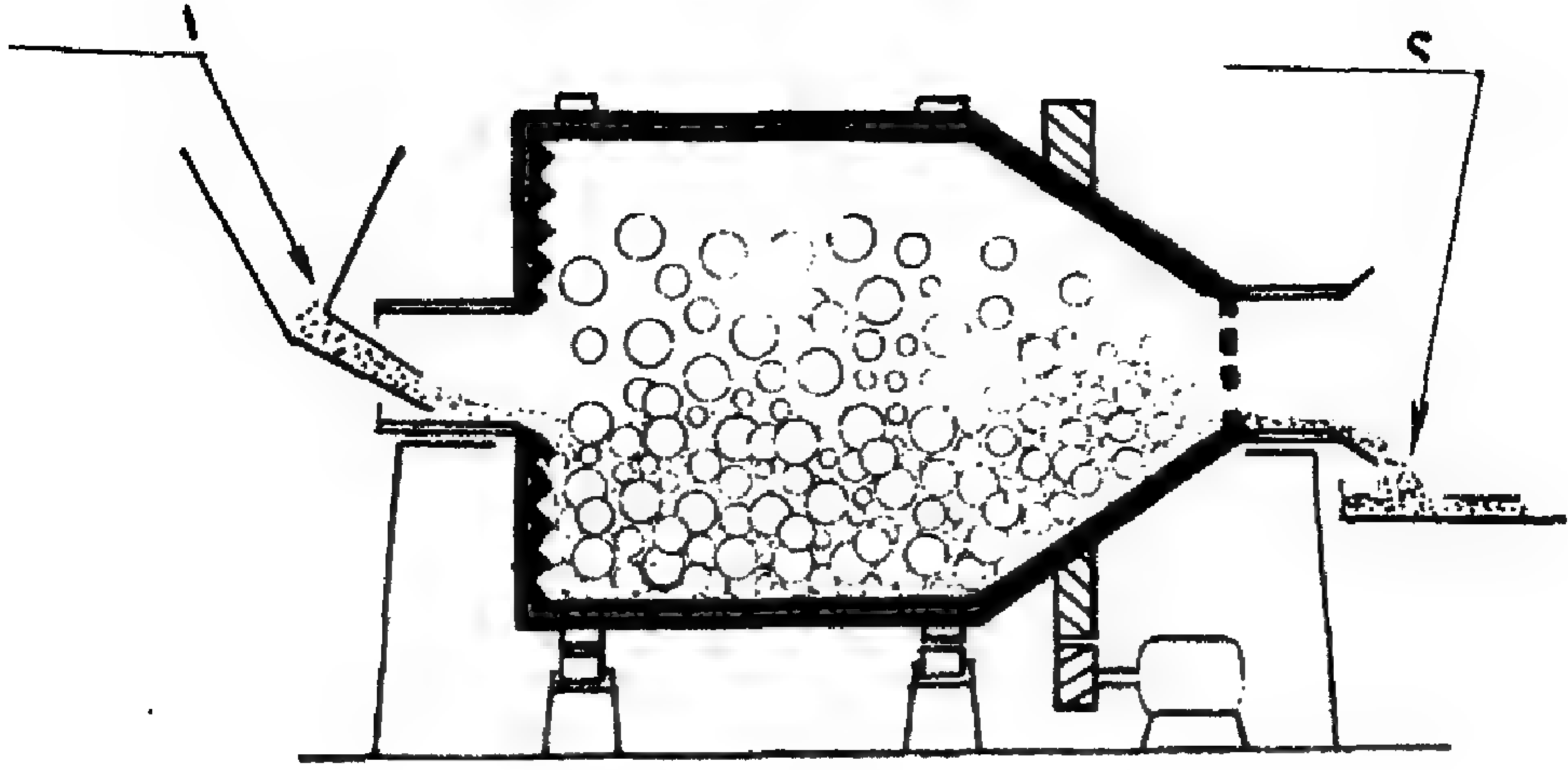
(شكل ٨)
كسارة مطرقية (كسارة الشواكيش)

- ١ - الشحن
- ٢ - المطارق (الشواكيش)
- ٣ - الخسام بعد التكسير



(شكل ٩) كسارة فكية

- ١ - الشحن
- ٢ - فك الكسارة الثابت
- ٣ - فك الكسارة المتحرك
- ٤ - فتحة الكسارة
- ٥ - عمود الإدارة



(شكل ١٠) طاحونة السكور

٢- الحام المطحون

١- الشحن

بعد الحصول على الحامة المعدنية لفلز الألومنيوم بأحجام صغيرة ، يجرى تصنيفها حجماً حيث تعاد الأحجام الكبيرة نسبياً ، ليعاد تكسيرها مرة أخرى في الكسارة المطرقية ، أو في الكسارة الفككية ، وتشحن الأحجام الصغيرة ٥٠ ملليمتراً في طاحونة الكور ، أو طاحونة القضبان ، لطحنها إلى أحجام دقيقة كما المطلوب . والطاحونة كما هي مبينة بالشكل (١٠) تتكون من هيكل اسطوانى الشكل من الفولاذ ، يبطن بألواح من الصلب قابلة للتغيير ، إذا ما لزم الأمر ، وبداخل هذه الأسطوانة الفولاذية الفسخمة ، يوجد عدد من الكرات أو القضبان الفولاذية أو قطع من حجر الصوان . وتدخل المواد عند الشحن المستمر من بوابة أفقية هي المرتكز الدورانى المجوف لجسم الطاحونة ، وتفرغ المواد المطحونة من الطرف الآخر ، ويدور جسم الطاحونة حول محوره الأفقى ، حيث ترفع الكرات والقضبان الفولاذية لتسقط من ارتفاع معين حتى تسحق قطع الحام . ولا بد أن تكون سرعة الدوران مناسبة ، فلا تكون أعلى من اللازم ، فتندفع الكرات إلى محيط الطاحونة ، وتثبت بها بتأثير القوة الطاردة المركزية الناتجة عن الدوران السريع للطاحونة ، أو أبطأ مما يجب ، فتندرج الكرات في الجزء الأسفل من الطاحونة ، وينعدم دورها . وعلى كل حال ، فهي تتراوح بين ١٢ ، ٤٠ دورة في الدقيقة ، استناداً إلى قطر الطاحونة .

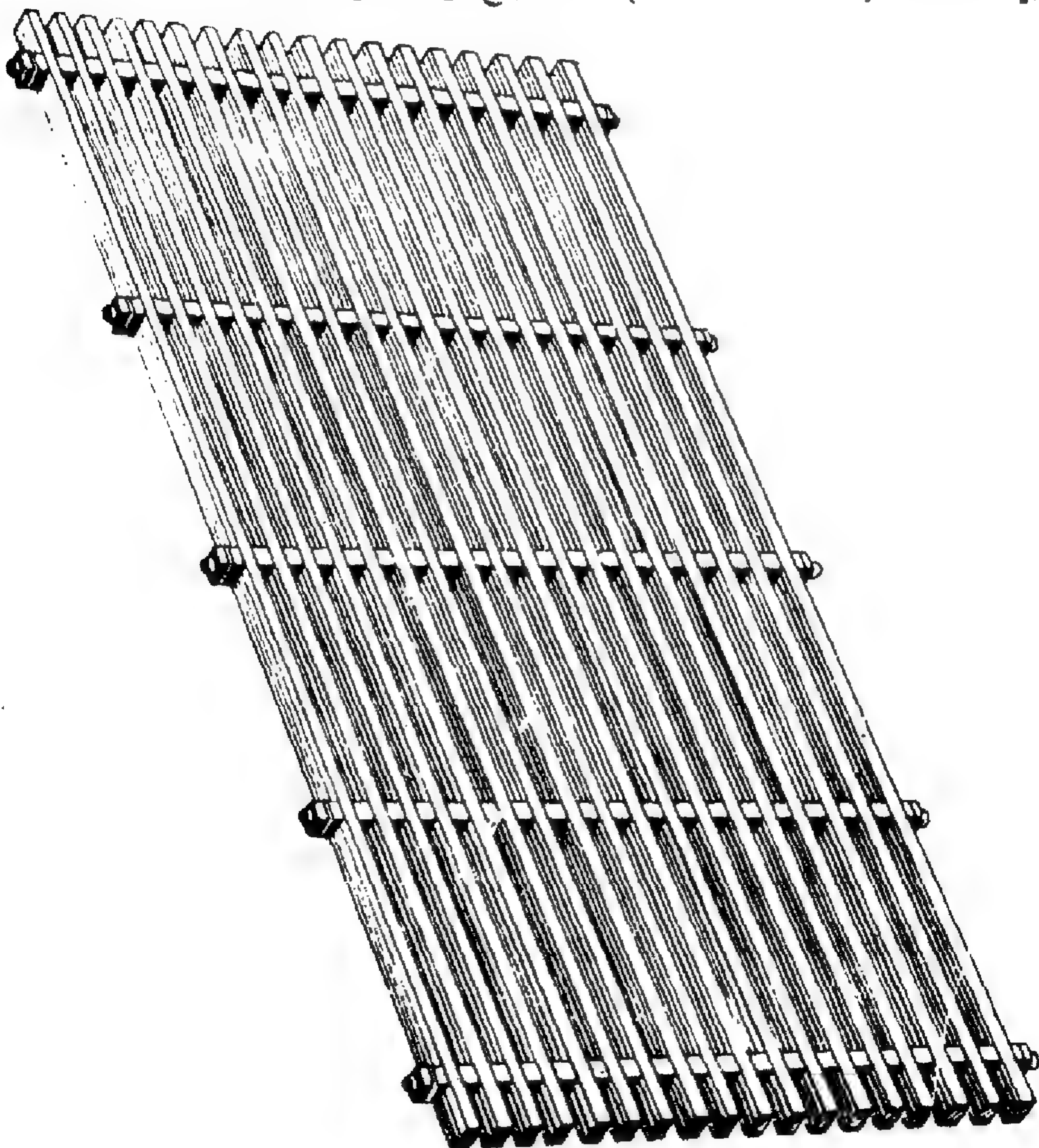
وفي الآونة الأخيرة ، اتجه التفكير إلى استخدام الطواحين ذاتية السحق ، وفيها يستغنى عن أجسام السحق مثل الكرات أو القضبان الفولاذية ، وإنما يتم السحق اعتماداً على الاحتكاك الناشئ بين قطع المواد المطحونة نفسها . وهذه الفكرة مناسبة عملياً ، ولها ميزاتاً التي أهمها

تفادى اختلاط مسحوق الحديد الناعم ، الناجم عن احتكاك الكريات أو القضبان الفولاذية أثناء عملية السحق ، مع حبيبات الحامة الدقيقة الحجم .

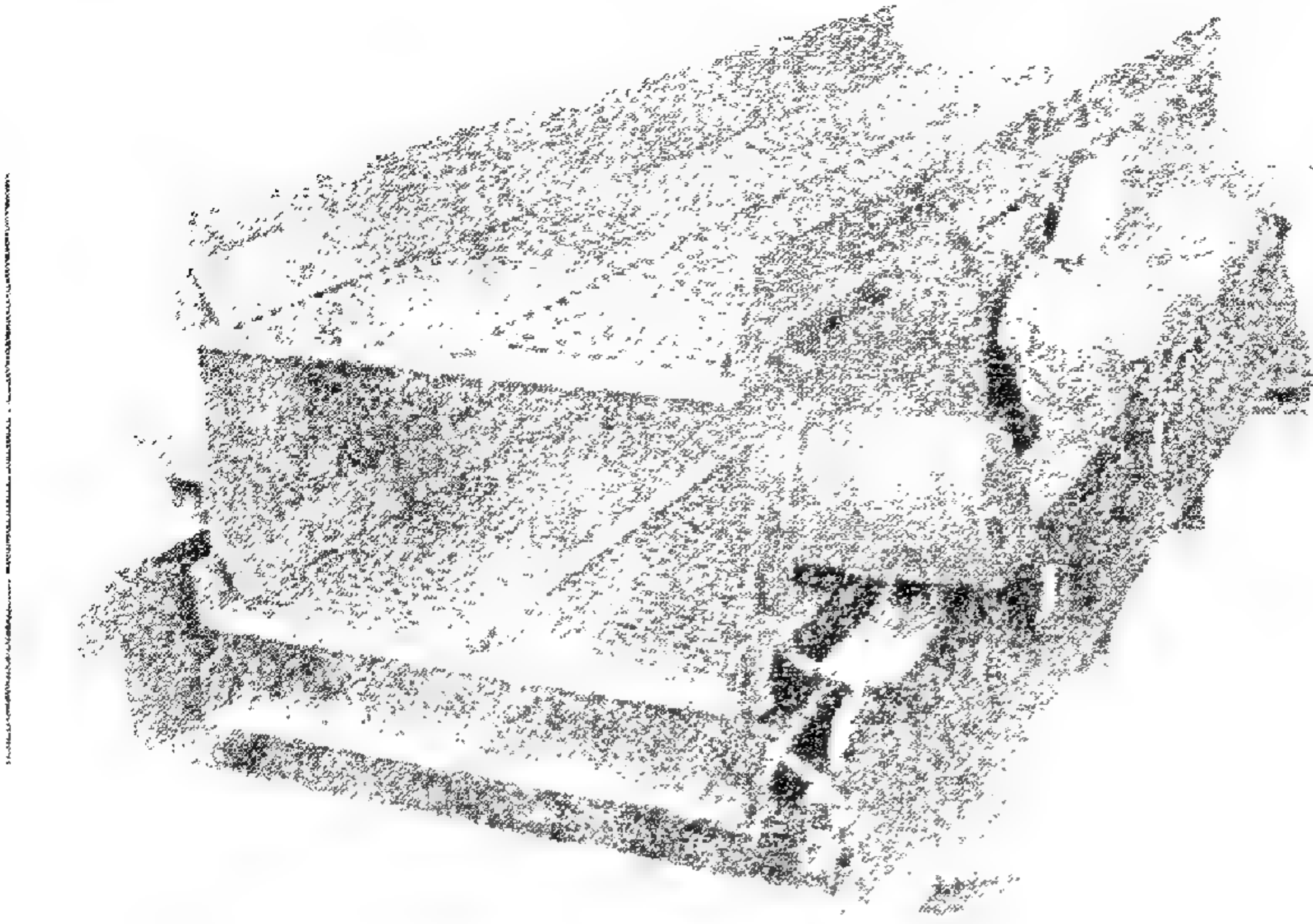
وتجرى عملية الطحن الدقيق في وسط سائل ، تفاديا لتكون الغبار ، وغالبا ما يستخدم الماء لهذا الغرض .

ولما كانت كل مرحلة من مراحل العمليات الميئالورجية تستلزم حجما معينا للحامة المعدنية ، كما أنه من ناحية أخرى ، يختلف حجم الحامات المعدنية بعد عمليات الطحن تبعا لخواصها من حيث الصلادة والقصفة ، فإن كل مرحلة من مراحل الطحن أو التكسير ، تحتوى على نسبة من الدقائق قد تكون من الصغر بحيث تمثل عبئا على حمولة الطاحونة لا داعي له . ولذلك فإنه من الأصوب أن تجرى عملية فصل للأحجام ، صغیرها عن كبيرها ، بين المراحل المختلفة للتكسير والطحن . وتتم هذه العملية بالاستعانة بمجموعة من المناخل .

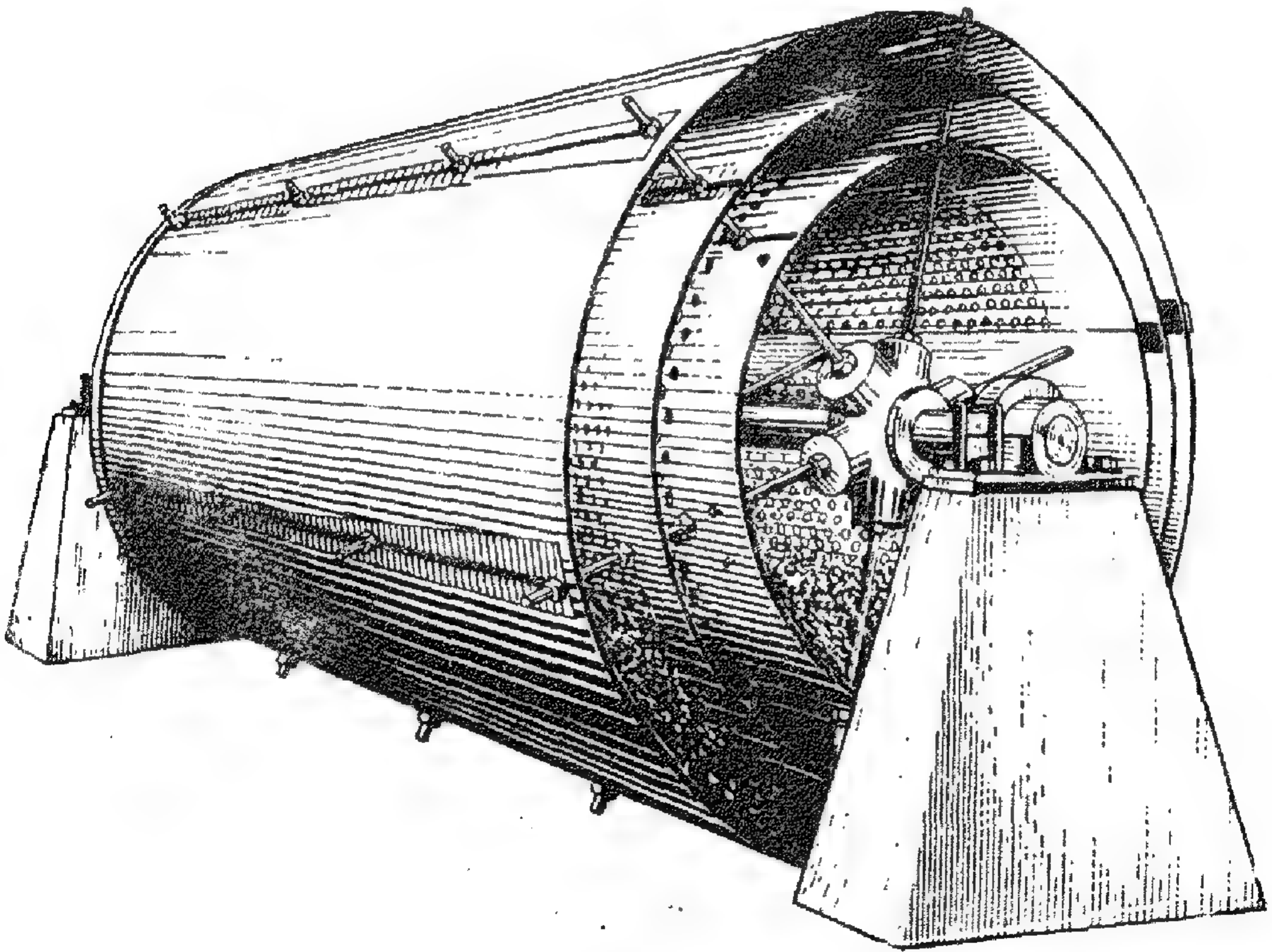
وتبين الأشكال (١١ ، ١٢ ، ١٣) ثلاثة أنواع من المناخل المختلفة .



(شكل ١١) منخل ذو قضبان



(شكل ١٢) منخل هزاز



(شكل ١٣) منخل اسطوانى

وأبسط هذه الأنواع استخداما في الصناعة ، المنخل ذو القضبان ، وهو يحتوى على قضبان فولاذية تميل على الأفقى بدرجة تتراوح بين ٣٥ ، ٥٤٠ . وتحدد المسافة بين القضبان ، حجم الدقائق المطلوبة ولا تقل عادة عن ٢٥ مليمترا . وتتدحرج المواد على قضبان المنخل بفعل الجاذبية

الأرضية ، حيث تسقط المواد صغيرة الحجم خلال الفتحات بين القضبان . وتكاليف المنخل القضبانى صغيرة ، وكفاءتها فى فصل الدقائق منخفضة .

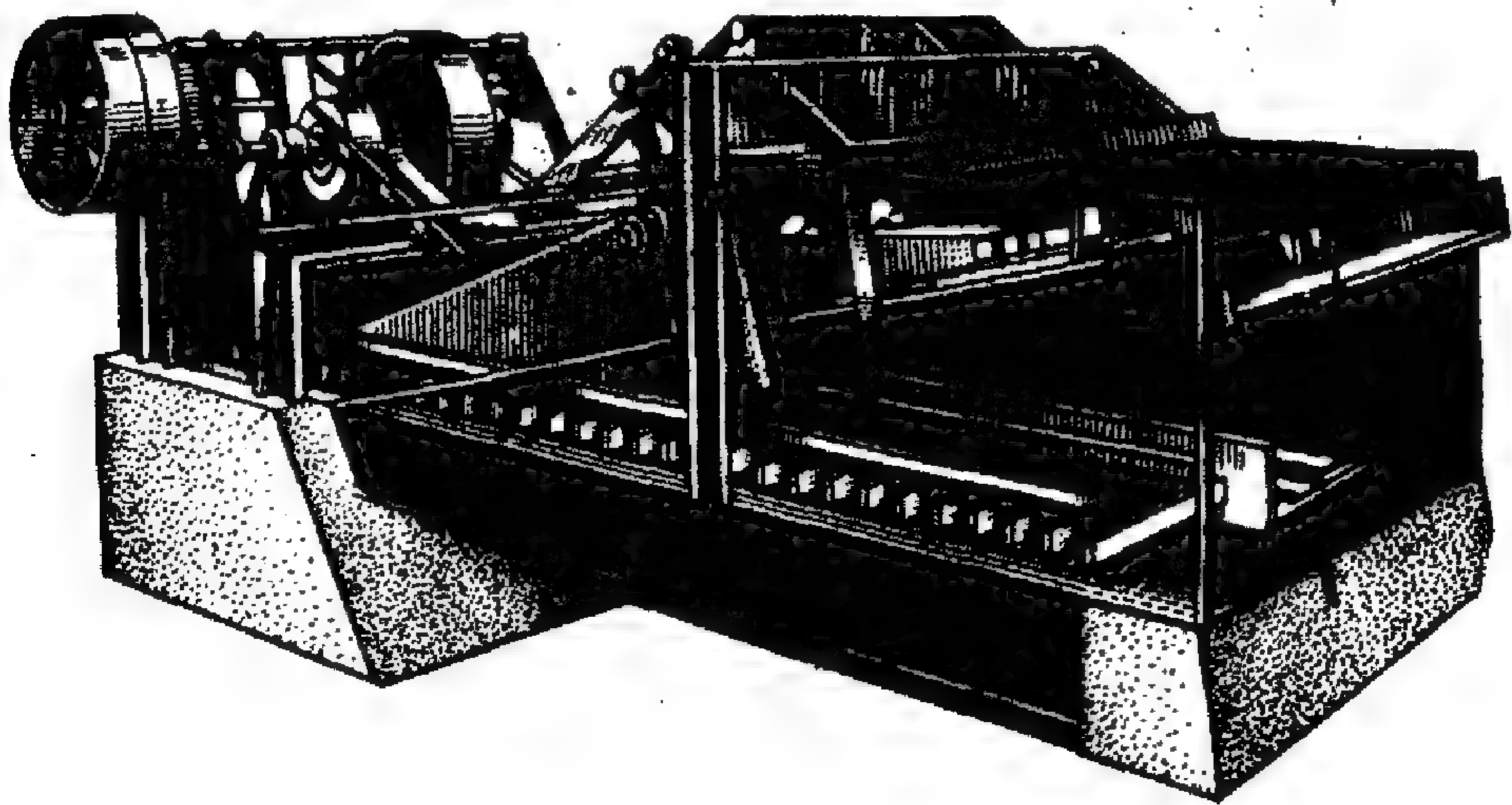
ويتكون المنخل الهزاز من شبكة من أسلاك معدنية تمتد على إطار معدنى ، يميل على الأفق بدرجة لا تكفى لتدحرج المواد عليه بفعل قوى الجاذبية ، ولكن باهتزازة بطريقة ميكانيكية أو كهرومغناطيسية ، تتدحرج هذه المواد ، وتنفصل تبعاً لأحجامها . ويمكن فصل المواد إلى عدة أحجام ، بوضع عدة شبكات الواحدة فوق الأخرى ، ولكل شبكة فتحات تختلف عن فتحات الشبكة التى تليها ، ويجرى ترتيبها بحيث توضع الشبكة ذات الفتحات الضيقة أسفل التى تليها وهكذا . ويستخدم المنخل الهزاز بعد عملية التكسير المتوسط والناعم . ويمتاز بكفاءة أعلى كثيراً من المنخل القضبانى .

ويتكون المنخل الأسطوانى من شبكة أسطوانية الشكل يميل محورها قليلاً على الأفق ، ويمكن أن تدرج المواد إلى أحجام مختلفة باستخدام شبكات أسطوانية متحدة المحور ، ولها فتحات مختلفة ، بحيث تضيق الفتحات بالاتجاه إلى الخارج ، حيث تكون للشبكة الخارجية أضيق الفتحات .

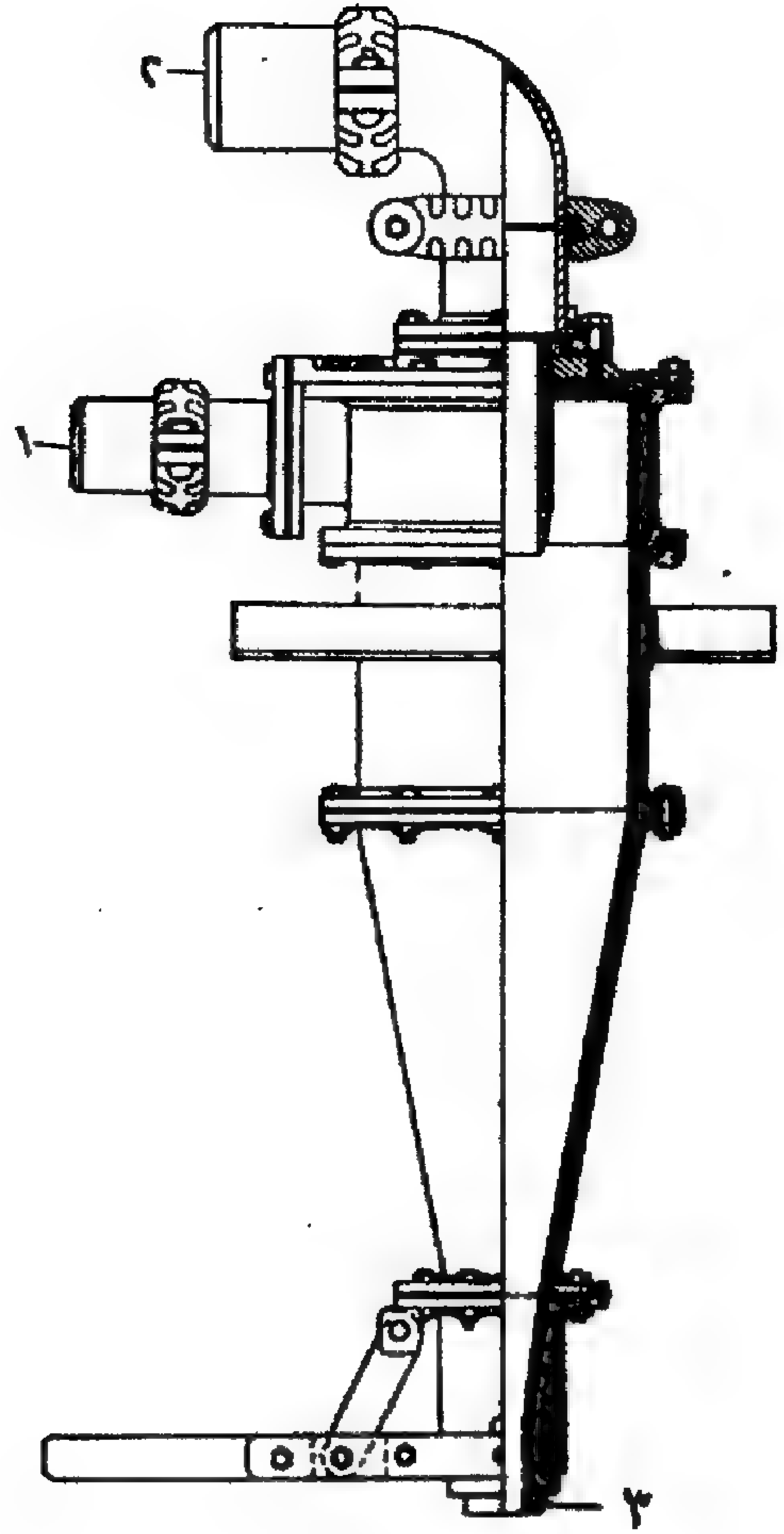
التصنيف المبتل :

يتعدى استخدام المناخل التى سبق وصفها فى أغراض التصنيف الحجمى لحبيبات الخامة المعدنية ذات الأحجام الدقيقة ، إذ تميل هذه الدقائق إلى التجمع فى كتل تبدو كبيرة ، كما قد تكون غباراً . ولهذا يجرى التصنيف الحجمى لهذه المواد الدقيقة فى وسط سائل حيث يكون لباباً ، ويعرف هذا النوع من التصنيف بالتصنيف المبتل . وتعتمد فكرة التصنيف المبتل ، على مبدأ ترسب الدقائق الكبيرة (الأثقل) من اللباب بسرعة أكبر من ترسب الدقائق الصغيرة (الأخف) .

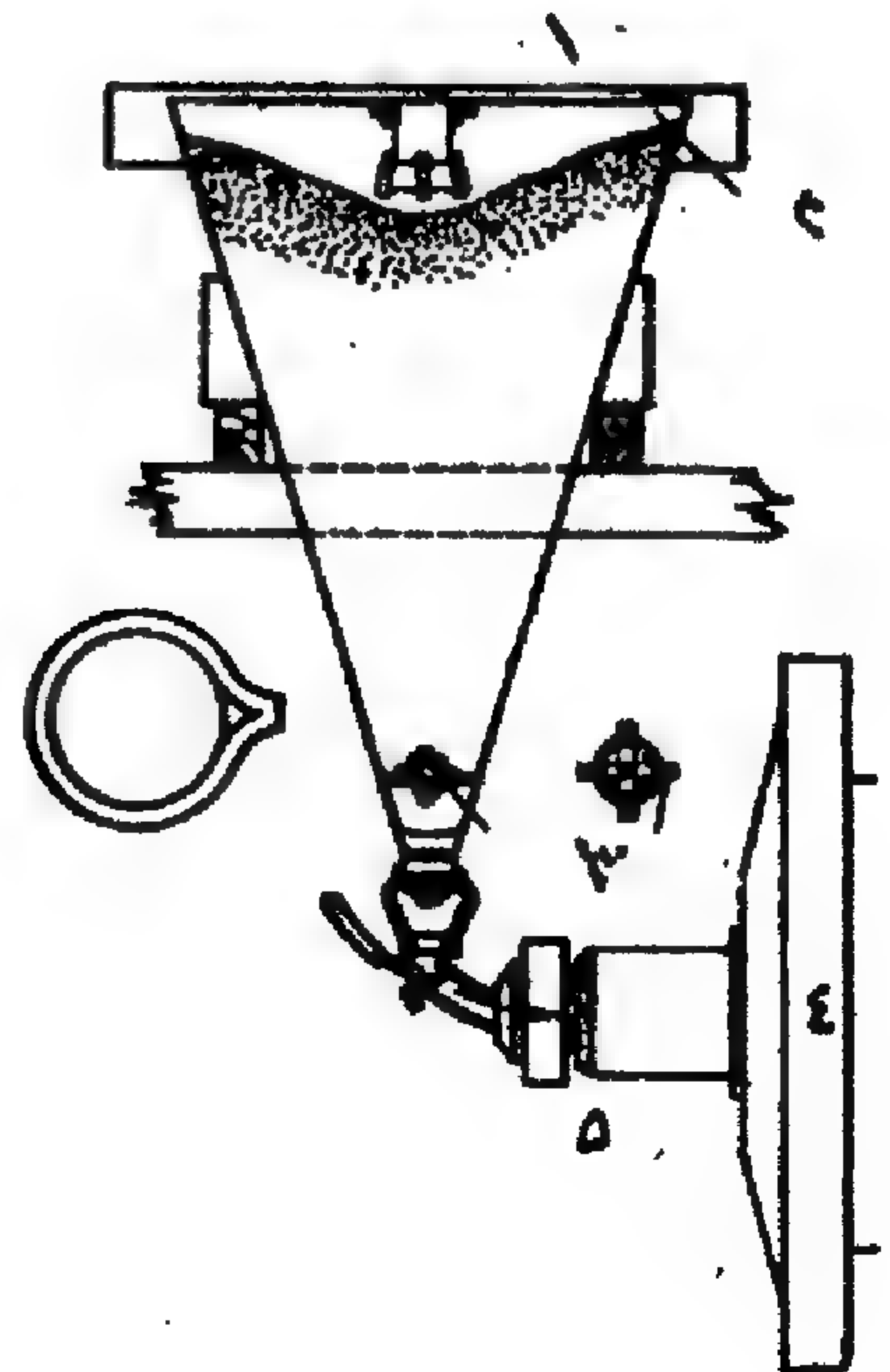
والمصنف الذى يعمل فى وسط مبتل (وسط مائى) ، وعاء يملأ بلباب المواد التى يراد تصنيفها ، ويتم الشحن بصفة مستمرة ، حيث ترسب المواد السريعة الهبوط فى المصنف ، بينما



شكل (١٤) مصنف دوار



(شكل ١٥) مصنف سيكلوني :
 ١ - التغذية
 ٢ - الفيض
 ٣ - التخلص من المواد العالقة



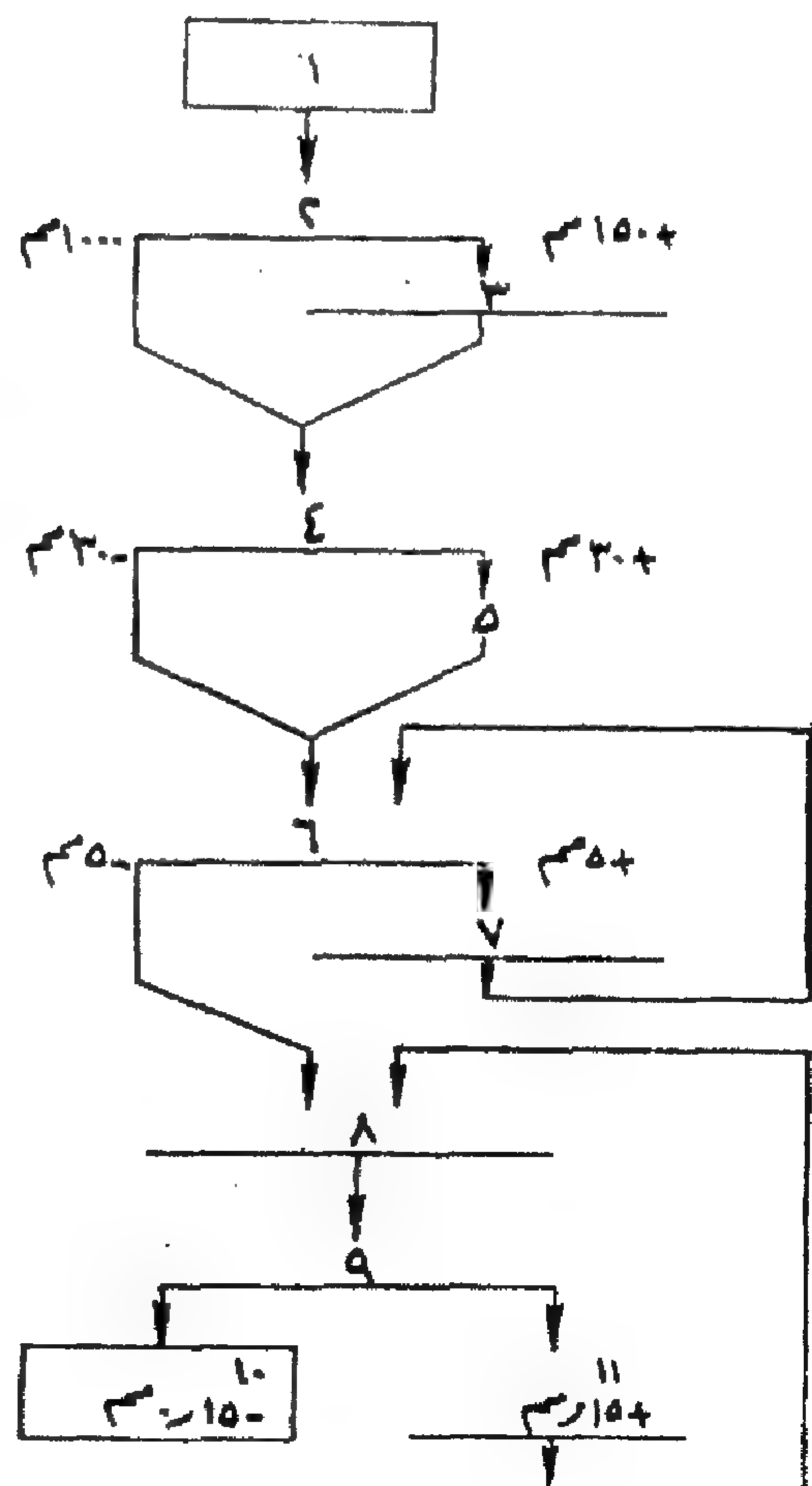
(شكل ١٦)
 مصنف مخروطي يعمل في دائرة مغلقة مع
 طاحونة الكور :
 ١ - التغذية
 ٢ - الفيض
 ٣ - حاجز
 ٤ - طاحونة الكور
 ٥ - التمرير

فساب الدقائق الصغيرة محمولة مع التيار المتدفق للباب . وبانخفاض سرعة الباب خلال المصنف ، ترسب كيات أخرى من المواد العالقة ، ولا تبقى إلا المواد الدقيقة ، فتظل معلقة في ماء الفيض . وهناك عدة أنواع من المصنفات يمكن استخدامها لهذا الغرض ، مثل مصنف دور ، الشكل (١٤) ، والمصنف السيكلوني ، الشكل (١٥) . كما يمكن أن يقرن أحد المصنفات المبتلة بطاحونة في دائرة مغلقة ، كما في الشكل (١٦) ، الذي يوضح اقتران المصنف المخروطي بطاحونة الكور ، حيث يجري طحن الحامة المعدنية ، ثم دفعها خلال فتحة التفريغ إلى المصنف المخروطي الذي يقوم بتصنيفها وإعادة الحبيبات الكبيرة منها إلى الطاحونة لطحنها مرة أخرى ، وهكذا . ويتكون المصنف المخروطي من وعاء مخروطي قاعدته إلى أعلى . وتتجمع المواد كبيرة الحجم في الجزء الأسفل (عنق المخروط) حيث تفرغ بجهاز خاص . وتطفو الحبيبات الدقيقة الحجم مع السائل ، ثم تخرج خلال قناة مفتوحة في أعلى المخروط . وهذا النوع من المصنفات سهل التصميم ، ولا يحتوي على أجزاء متحركة ، ولكن في مقابل ذلك فإن كفاءته دون المطلوب . ويبين الشكل (١٧) رسماً توضيحياً للخطوات المتبعة التي يتعرض لها الخام بعد تعدينه من المناجم ، ويتضح من الرسم ، أن الطاحونة والمصنف تكون في دائرة مغلقة واحدة .

شكل (١٧)

رسم توضيحي يبين توالي عمليات تكسير ، وطحن وتصنيف الحامة المعدنية للألومنيوم :

- ١ - الحامة المعدنية للألومنيوم
- ٢ - منخل ذو قضبان
- ٣ - عملية التكسير الابتدائية
- ٤ - منخل هزاز
- ٥ - عملية التكسير المتوسطة
- ٦ - منخل هزاز دقيق
- ٧ - عملية التكسير الدقيقة
- ٨ - الطحن
- ٩ - عملية التصنيف الحجمي
- ١٠ - الفيض
- ١١ - النفايات المتخلفة



وبالحصول على الحامة المعدنية للألومنيوم في صورة جسيمات دقيقة الحجم ، تصبح جاهزة للخطوة التالية وهي عملية التركيز .

أساليب تركيز الحامة المعدنية :

لا تؤدي عملية تركيز الحامة المعدنية إلى حدوث أى تغيير في الخواص الكيميائية أو الفيزيائية الأساسية للحامة ، وينحصر الهدف من هذه العملية الميتالورجية ، في التخلص من بعض الشوائب غير المرغوب فيها ، فتزداد تبعاً لذلك نسبة الألومنيوم في الحامة المعدنية .

وهناك العديد من الطرق المختلفة التي يمكن تطبيقها لتركيز الحامة المعدنية للألومنيوم ، منها طريقة التعميم ، وطريقة التركيز حسب الثقل النوعي .

وفيما يلي وصف تفصيلي لطريقة التعميم لتركيز خامة الألومنيوم .

بعد الحصول على لباب يحوى الحبيبات الدقيقة الحجم من خامة الألومنيوم ، تضاف إليه كيات قليلة جداً من عوامل التعميم (عوامل الطفو) اللازمة ، ويقلب اللباب جيداً بواسطة قلابات ميكانيكية ، ويدفع خلاله تيار من الهواء الجوى ، الذى ينتشر على هيئة فقاعات صغيرة خلال كل اللباب . وتتعلق هذه الفقاعات بالدقائق الصلبة للمعادن التي أصبحت غير قابلة للبلل ، بتأثير عوامل التعميم فتقل كثافتها وتطفو على سطح اللباب .

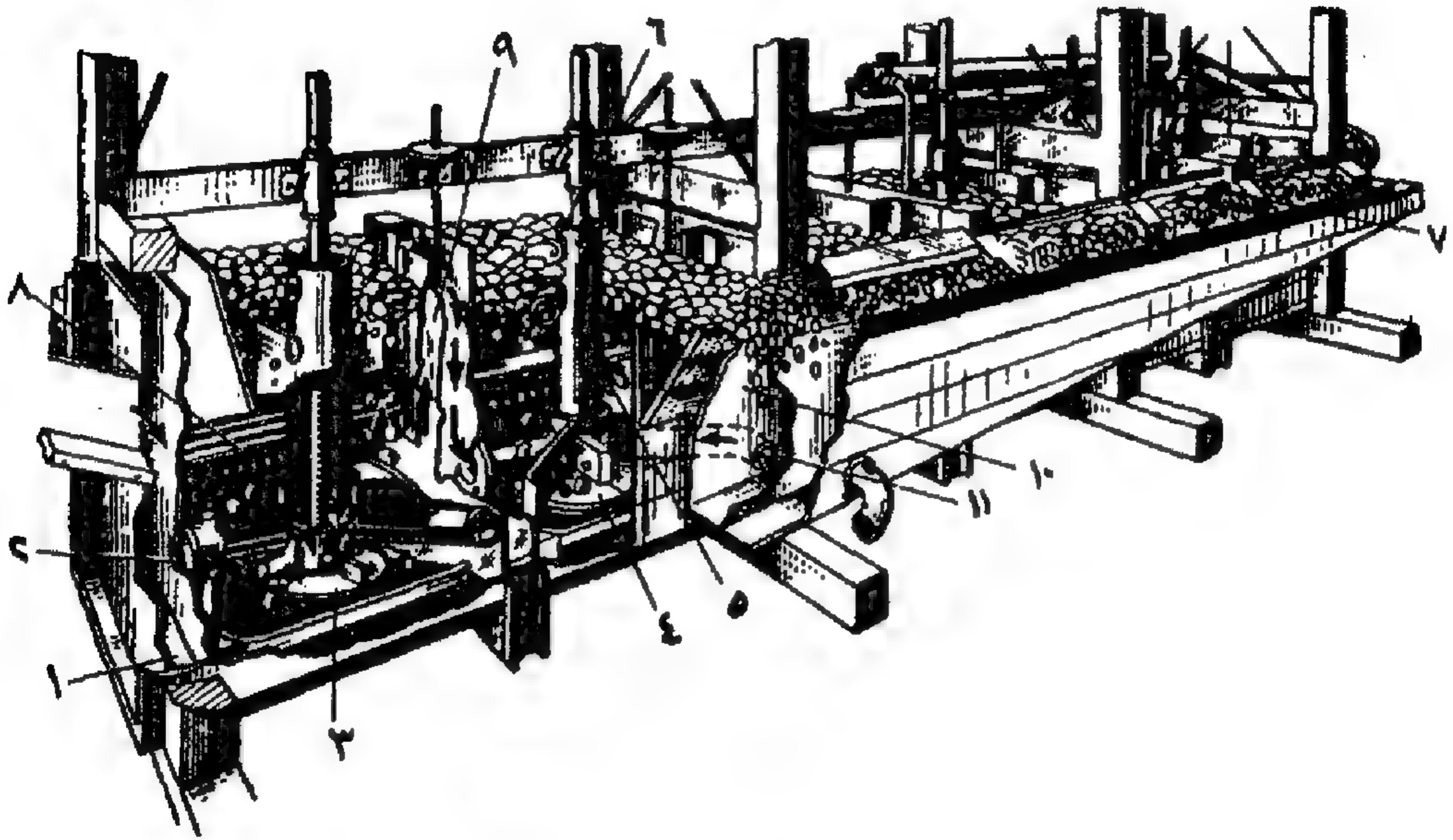
وعوامل التعميم هي في الواقع مركبات عضوية أوزانها الجزيئية كبيرة ، منها أملاح حمض السانتليك (أملاح السانثينات) . والأحماض الكربوكسيلية وأملاحها . ومن خواص هذه العوامل الالتصاق بمركبات أحد العناصر دون غيرها ، مكونة طبقة رقيقة على سطح المركب (المعدن) ، وعليه تتشبث فقاعات الهواء بأسطح حبيبات هذا المركب دون المركب الآخر ، فينشأ تباين في كثافة المركبات الكيميائية التي تؤلف الحامة المعدنية للألومنيوم ، فيطفو بعضها إلى سطح اللباب ، بينما يظل بعضها الآخر مستقراً في القاع . ولكى يسهل تجميع الحبيبات الطافية بسهولة ، تضاف بعض الرغويات التي من شأنها التمسك بهذه الحبيبات ، وخفض التوتر السطحي للماء . والرغويات هي في الواقع مركبات عضوية مختلفة مثل الزيوت ، والصابون ، والراتنجات (الأصماغ) .

وقد تضاف بعض العوامل غير العضوية لتنشيط أسطح الحبيبات المطلوب فصلها بالطفو ، حتى يزداد استعدادها لتقبل العوامل العضوية السابق ذكرها .

ومن الواضح أنه من الممكن أن تكون المادة المطلوبة هي التي تطفو ، أو العكس . وتعمل مكنة التعميم بصفة مستمرة ، حيث يشحن اللباب داخل المكنة دون انقطاع ، وتفرغ النواتج بصفة مستمرة .

ويبين الشكل (١٨) إحدى وحدات التعميم الميكانيكية ، وهي تتكون من خزان على شكل متوازي المستطيلات ، يجرى تقسيمه بفواصل عرضية إلى عدد من الخلايا . ويشحن اللباب خلال

الفتحة (١) حيث ينساب إلى الخلية الأولى عبر الأنبوبة (٢) ، ويجرى تقليبه بشدة بواسطة قلاب سريع الحركة (٣) وتغطي من أعلى بالقرص (٤) . ويندفع الهواء بالسحب خلال الأنبوبة (٥) خلال الفتحة (٦) ، فيختلط الباب مع الفقاعات الصغيرة للهواء ، ثم يرفع فوق الشبكة (٨) . وينتقل الباب من الخلية الأولى إلى صندوق أوسط عبر عارضة التوجيه (٩) ، وهكذا يمر الباب والرغاوى خلال جميع الخلايا في المكنة . حيث تزال الرغاوى بواسطة أذرع متحركة (٧) . أما النفاية فتفرغ باستمرار من الخلية الأخيرة . وتسحب الرغوة بواسطة أدوات القشط إلى قنوات جانبية مفتوحة (١٠) . وعندما يراد إعادة التعويم بغرض التنظيف ، تمرر الرغوة في القنوات الجانبية حيث تعود ثانية إلى الخلايا المخصصة لها عبر الأنابيب (١١) . ويوضح الشكل (١٩) رسماً توضيحياً مبسطاً لخطوات عملية التعويم .



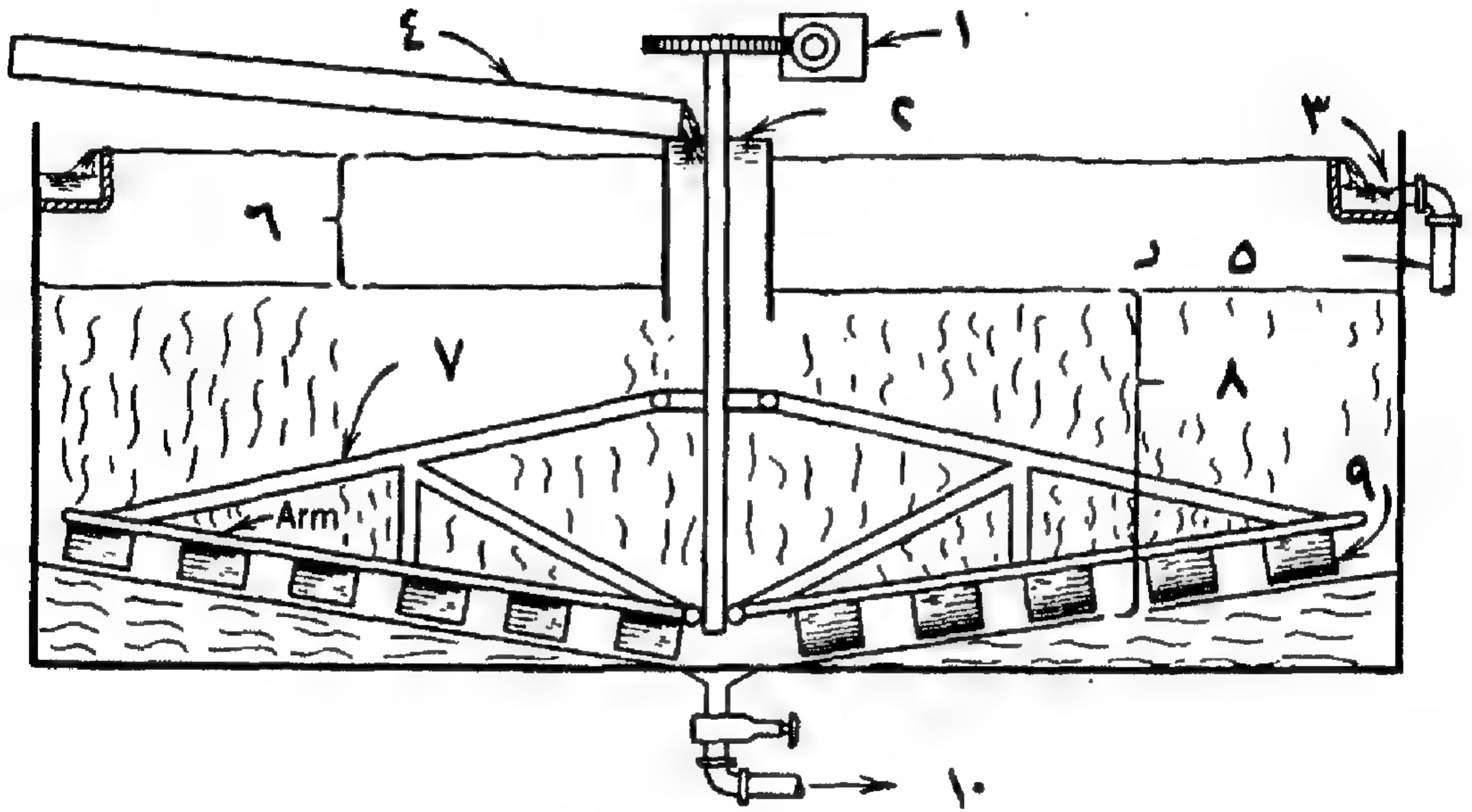
شكل (١٨)

وحدة تقويم ميكانيكية تستخدم في عمليات تركيز الخامات المعدنية للألومنيوم :
(أ) شحن الباب (الخامة المعدنية مع الماء) .

- | | |
|------------------------------|----------------------------|
| ١ - فتحة لاستقبال شحنة الباب | ٢ - أنبوبة |
| ٣ - قلاب سريع الحركة | ٤ - قرص |
| ٥ - أنبوبة توصيل | ٦ - فتحة يمر خلالها الهواء |
| ٧ - أذرع لإزالة الرغاوى | ٨ - شبكة |
| ٩ - عارضة توجيه | ١٠ - قنوات جانبية مفتوحة |
| ١١ - أنابيب توصيل | |

وتستخدم لهذا الغرض ثلاث طرق مختلفة هي التخليط ، والترشيح ، والتجفيف . وفي عملية التخليط يمكن خفض نسبة الماء في اللباب إلى ٤٠-٥٠٪ فقط . أما في عملية الترشيح فيمكن خفض نسبة الماء إلى ١٠٪ فقط . ويستخدم الوقود في إجراء عملية التجفيف ، إلا أن ذلك لا يضيع هباء ، إذ يمكن التخلص من الماء كلية بهذه الوسيلة .

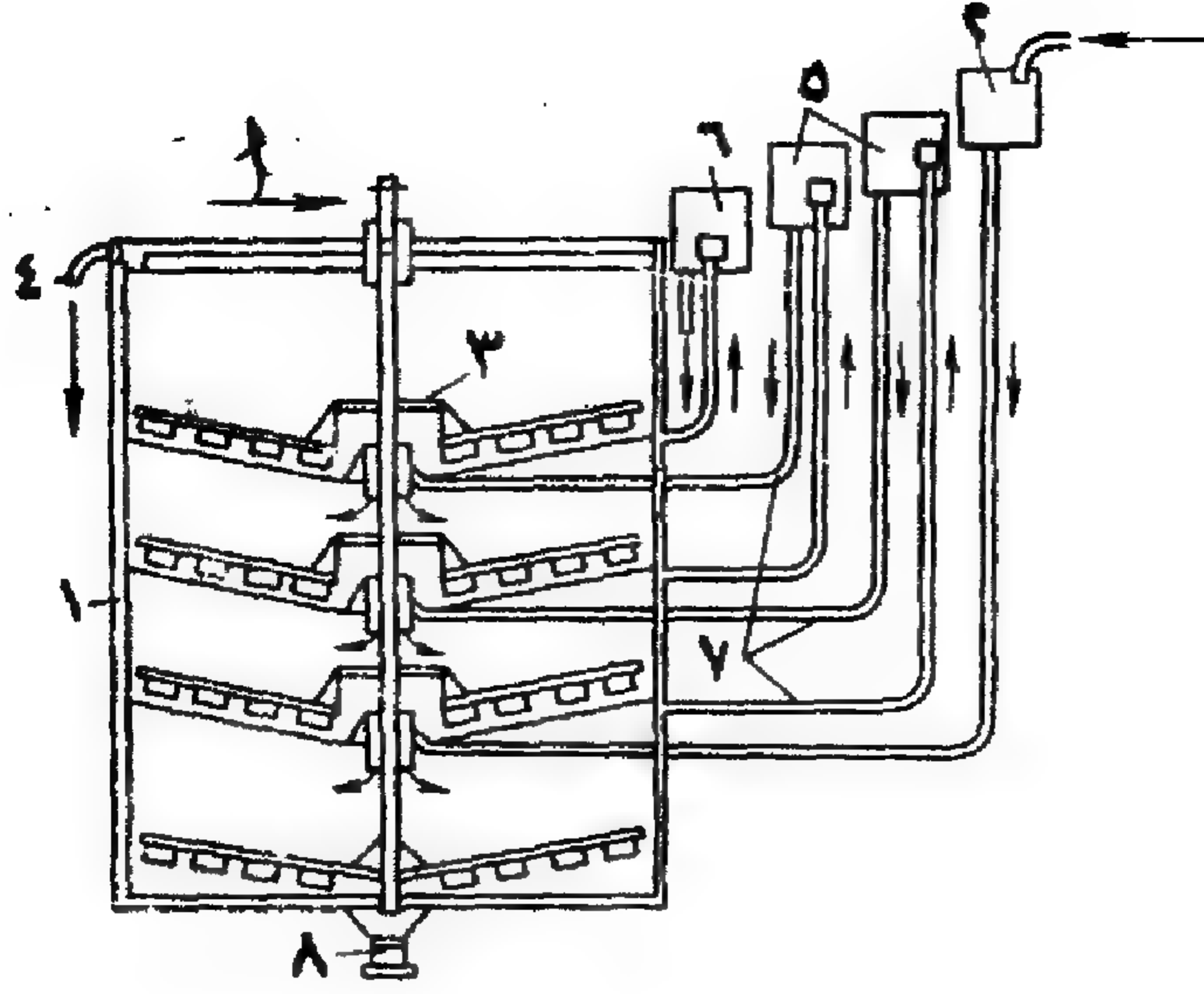
وهناك عدة أنواع من المخلطات التي تستخدم لهذا الغرض ، أهمها المخلط مركزي التدوير (شكل ٢٠) ، والمخلط متعدد الأحواض (شكل ٢١) .



شكل (٢٠)

مخلط مركزي التدوير

- | | |
|-----------------|---|
| ١ - جهاز إدارة | ٢ - التغذية (شحن الحامة المعدنية المركزة) |
| ٣ - قناة الفيض | ٤ - مصب التغذية |
| ٥ - محلول الفيض | ٦ - منطقة (أ) تحوي سائلا رائقا |
| ٧ - آلية الجرف | ٨ - منطقة (ب) |
| ٩ - ريشة | ١٠ - تصريف الكدارة الغليظة القوام . |



شكل (٢١)
مغلظ متعدد الأحواض
(١) شحن اللباب

- ٢ - خزان مياه الغسيل
- ٤ - أنبوبة الفيض
- ٧ - أنابيب التوصيل

- ١ - هيكل الخزان
- ٣ - مصيدة
- ٥، ٦ - خزانات لإعادة المحاليل
- ٨ - فتحة تفريغ الراسب

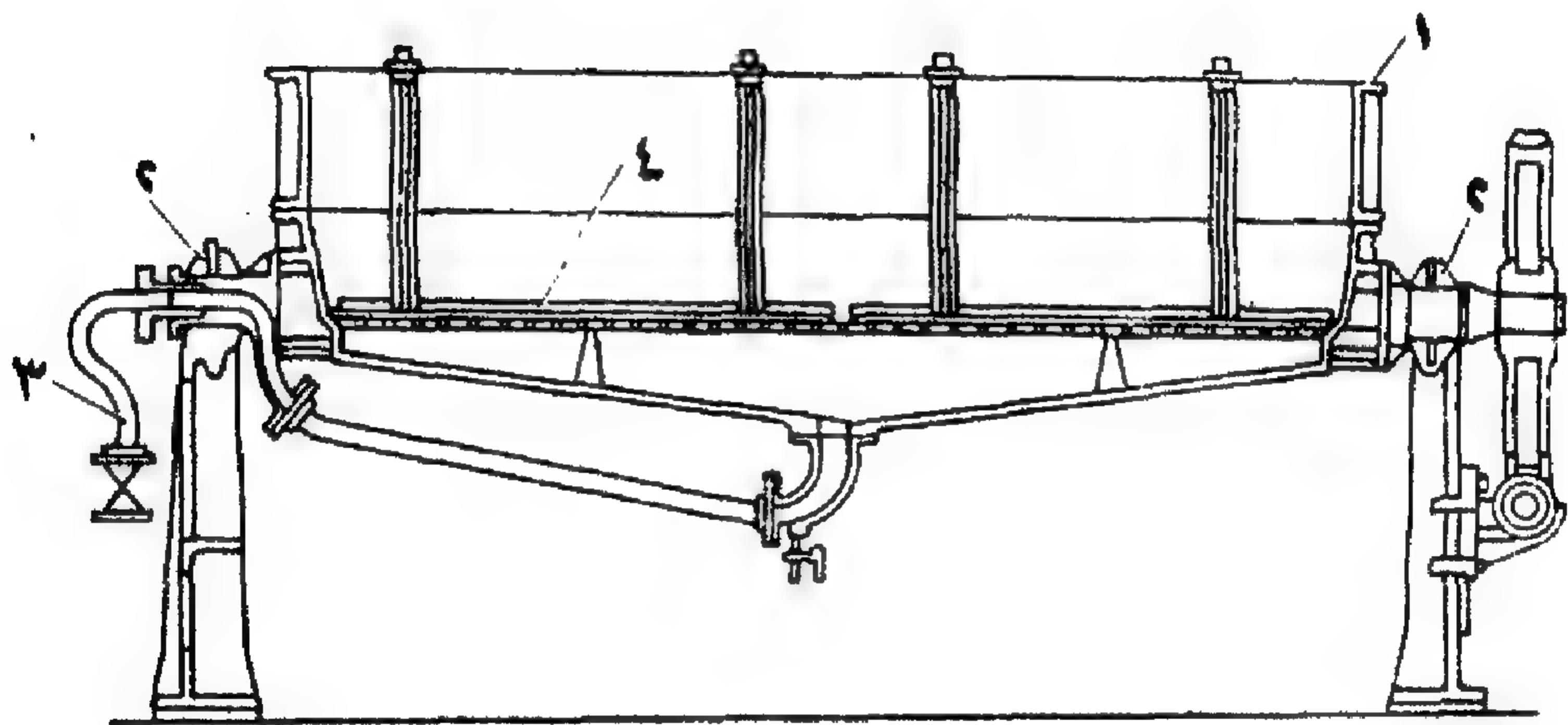
ويتم التغليظ بترسيب حبيبات ركاز الحام ، ويمكن التعجيل بعملية الترسيب ، بإضافة مواد مجمعة تعمل على تجميع الحبيبات بعضها إلى بعض . ومن هذه المواد المضافة الجير الحى وبعض الراتنجات . وينفصل الماء المكون للباب رائقا .

ويتكون المغلظ مركزى التدوير من خزان أسطوانى (٤) يصل قطره فى بعض الأحيان إلى ١٠٠ متر . ويشحن اللباب داخل الخزان باستمرار خلال قع الشحن (١) الذى يتحد محوره مع محور الخزان ، حتى مستوى قناة الفيض (٣) . وترسب الحبيبات الدقيقة من اللباب ، تتكون طبقة رائقة من الماء تتدفق باستمرار فى القناة . وترسب الحبيبات على القاع المخروطى الذى يميل قليلا فى اتجاه المحور (كما فى الشكل ٢٠) حيث يوجد جهاز التفريغ . وتكشط الحبيبات المترسبة من الجوانب إلى المحور ، بواسطة مجارف ميكانيكية .

ويتكون المغلظ متعدد الأحواض من عدة أحواض ترسيب ، يوضع الواحد منها فوق الآخر ، كما فى الشكل (٢١) .

وفي عملية الترشيع ، يمكن الحصول على الحبيبات الدقيقة ، بإفناذ السائل رائقا خلال أقشة مسامية تحجز الدقائق الصلبة . ويتكون قاش الترشيع من نسيج طبيعي قطنى أو صوفى ، أو مصنوع من الألياف الاصطناعية . ويتم اختيار القماش على أساس ثباته كيميائيا فى وسط من السوائل التى يراد ترشيحها . وتعتمد سرعة الترشيع وإنتاجية المرشحات على مقدار الفرق فى الضغط ومقدار الضغط المفقود خلال مسام العجينة وقاش الترشيع ، وكلما ازدادت العجينة المترسبة سمكا ، قلت سرعة الترشيع ، ويحدث نفس التأثير عندما تغطى الجسيمات المترسبة مسام قاش الترشيع .

ولزيادة كفاءة المرشح وسرعة الترشيع ، تستخدم مرشحات تعمل بالتفريغ (الخلخلة) ، حيث يكون هناك فرق فى الضغط بواسطة الخلخلة فى مجمع المواد المرشحة والمرشحات ، وأحد هذه المرشحات هو مرشح نوتش ، المبين فى الشكل (٢٢) .



شكل (٢٢) مرشح نوتش

٢ - مرتكز دوراني

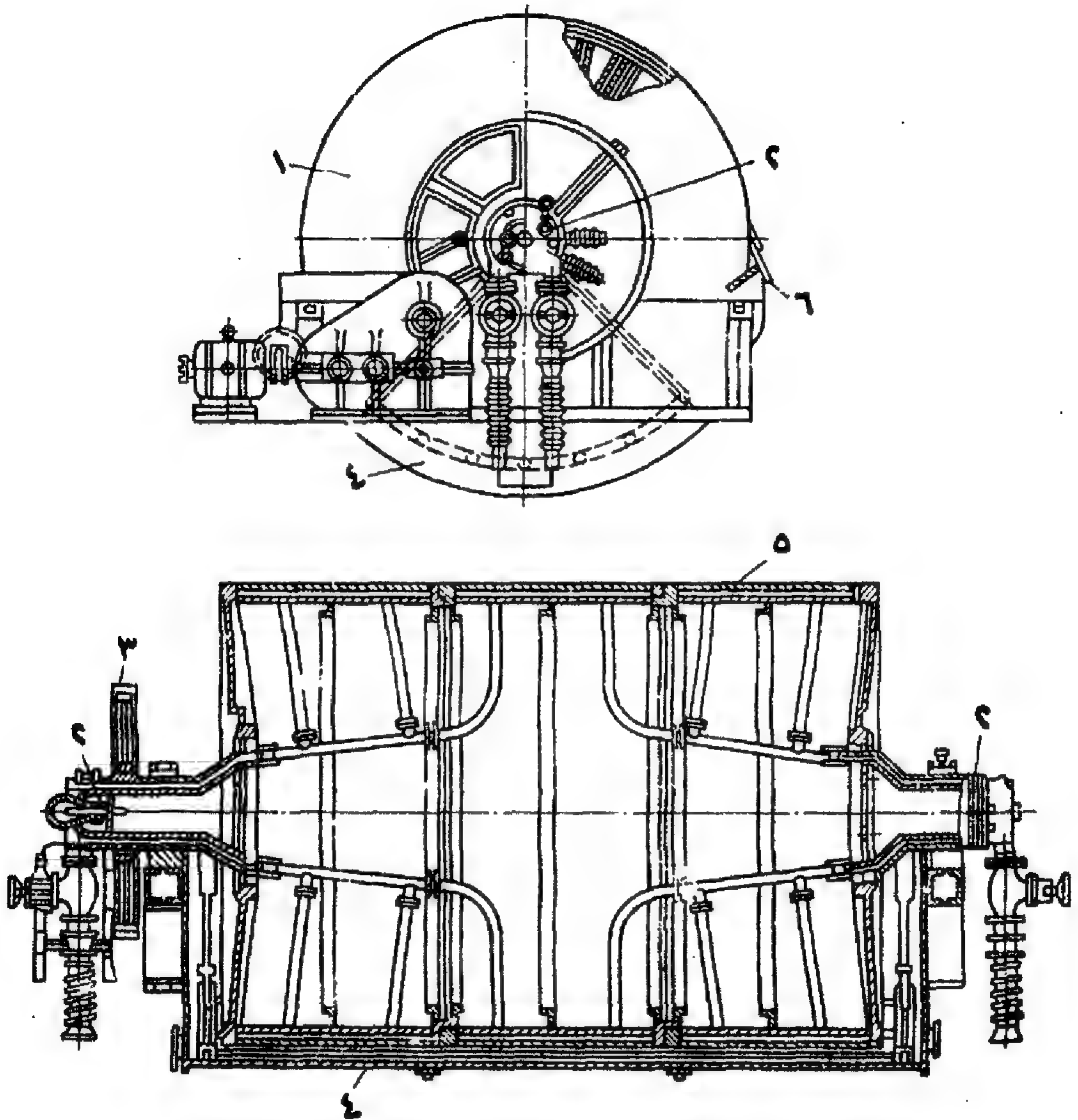
٤ - قاع وهمى

١ - خزان

٣ - ماسورة التفريغ

ويبين الشكل (٢٣) رسما توضيحيا لمرشح أسطوانى بالتفريغ ، وهو يتكون من أسطوانة خلخلة ذات ثقب ، تغطى بقماش الترشيع ، وتثبت أفقيا بحيث تدور حول محورها الأفقى . وتنقسم الأسطوانة من الداخل طوليا إلى عدد من الغرف ، يتصل كل منها بواسطة أنابيب وبصمام منزلق ، ويوصل الحوض عند دوران الأسطوانة بمضخة تفريغ الهواء . وعند التشغيل يغطى ثلث أو ربع الأسطوانة الأسفل باللباب . وتدور الأسطوانة بمعدل يتراوح بين ١٣-٠,٢ لفة فى الدقيقة ، فتسبب الدقائق الصلبة على القماش ، مكونة عجينة يتراوح سمكها بين ٦ و ١٥ سم ،

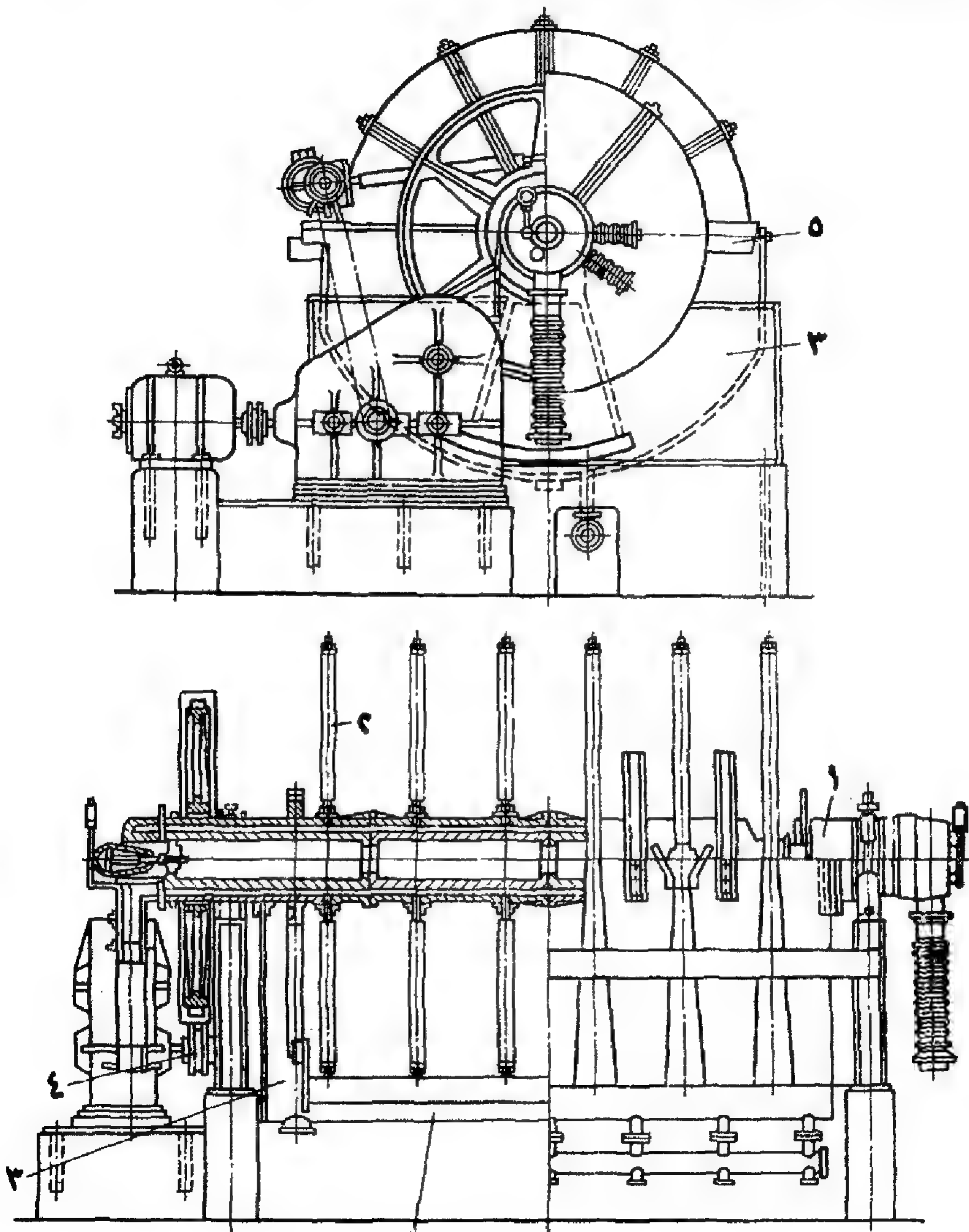
وينفذ السائل رائقا خلال القماش ، وبعد ذلك يعمل التفريغ (الفرق بين الضغطين على جانبي القماش) على تخليص العجينة مما تبقى بها من السائل . وقد تغسل العجينة عندئذ برشها بقيار من رذاذ الماء . وفي النهاية يوصل الصمام بهواء مضغوط يعمل على دفع العجينة بعيدا عن القماش فتقع متشقة في اتجاه القاع المائل حيث يمكن جمعها .



شكل (٢٣) مرشح اسطوانى بالتفريغ

- | | |
|----------------------------|--------------------------------|
| ١ - هيكل اسطوانى | ٢ - صمام التوزيع |
| ٣ - ذراع تدوير | ٤ - مخزان |
| ٥ - شبكة مكسية بقماش ترشيح | ٦ - مكين لإزالة الراسب المتكون |

والمرشحات القرصية الدوارة (الشكل ٢٤) تتشابه مع المرشحات الأسطوانية في مبدأ تشغيلها ، ولكنها تختلف عنها في أن قماش الترشيح يكون مثبتا ، إذ يجري تثبيته على أقراص تتألف من قطاعات منفصلة . وتوجد على سطح القطاعات الخشبية أو المعدنية مجار ترتبط بأنبوبة تصريف السائل عند المحور المركزي . ومن خلالها ترتبط مع الصمام المنزلق ، ويجرى كشط العجينة المتكونة في أوعية مائلة من كل قرص على حدة .



شكل (٢٤) مرشح قرصي دور

٢ - أقراص (يجري تفريغها بنسحب الهواء)

٥ - جهاز لإزالة الراسب المتكون

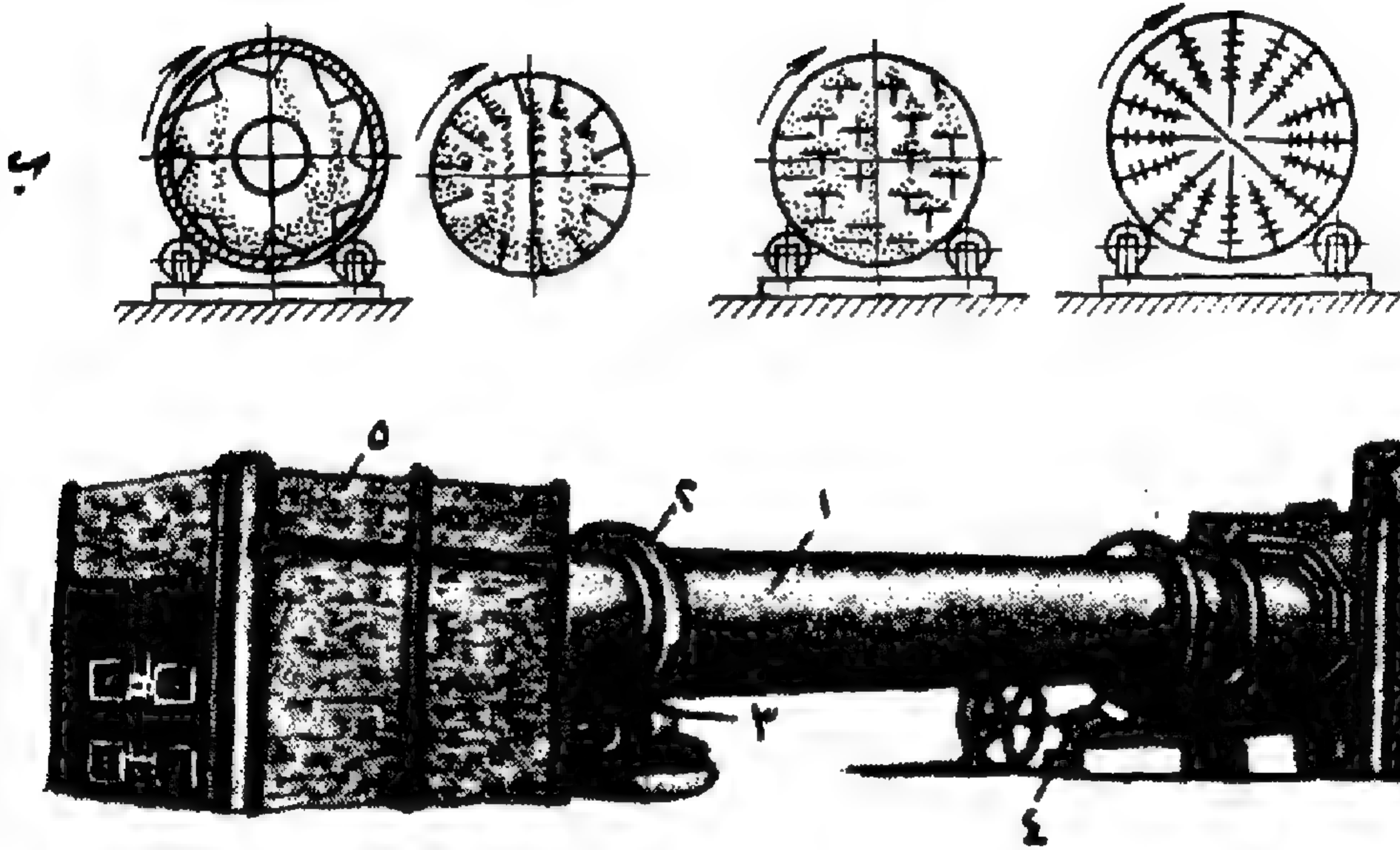
٤ - ذراع التدوير

١ - عمود

٣ - عزان

التجفيف :

يمكن التخلص من الماء بتبخيره بواسطة التجفيف ، ويتم ذلك في فرن دوار كما في الشكل (٢٥) ويتكون هذا الفرن أساسا من أنبوبة أسطوانية تصنع من الفولاذ طولها ٨-١٢ مترا ، وقطرها ١,٥-٢ مترا . وتميل هذه الأنبوبة على الأفق بزاوية ١-٢° ، وتدور الأنبوبة بمعدل ٣-٨ دورات في الدقيقة ، وتثبت بداخل جسم الأنبوبة عوارض توجيه ، تعمل على تقليب المواد لدى دورانها . وتشحن المادة التي يراد تجفيفها ميكانيكيا ، وتتساقط في أثناء دوران الفرن على العوارض ، وتتحرك تدريجيا تجاه الطرف الآخر للفرن . وتتدافع غازات التسخين الناتجة عن احتراق الوقود في اتجاه يضاد حركة المواد ، وهذه الكيفية يمكن التخلص من الرطوبة بالمعجينة بكفاءة عالية .



شكل (٢٥) فرن تجفيف دوار

(١) منظر عام للفرن

٢ - حلقة دورانية تدور خلالها اسطوانة الفرن

٤ - جهاز نقل الحركة

٦ - الشحن

١ - الهيكل الاسطوانى للفرن

٣ - اسطوانات دحرجية

٥ - الفرن

(ب) قطاعات في العوارض المختلفة الموجودة بالفرن

٣ - إنتاج المواد المساعدة في صناعة الألومنيوم

(١) إنتاج الكريولايت :

يتم الحصول على الألومنيوم فلزا خالصا نقيا ، بالتحليل الكهربائي لمصهور أكسيد (الألومينا) بعد تركيزه وتنقيته . ولكن ارتفاع درجة حرارة انصهار أكسيد الألومنيوم ، تجعل تكاليف عملية التحليل غير اقتصادية ، ويحول ذلك دون استخدام مصهور الألومينا منفردا ، مما أدى إلى البحث عن وسط مناسب للتحليل الكهربائي (الكتروليت) ، وقد وجد أن استخدام الكريولايت كعامل صهور يساعد كثيرا على خفض درجة حرارة انصهار الألومينا ، مما جعل عملية استخلاص الألومنيوم مناسبة من الناحية الاقتصادية .

والكريولايت مركب كيميائي يتألف من فلوريد ثنائي للألومنيوم والصوديوم يشبه الجليد في مظهره ، وكلمة « كريولايت » تعني في اليونانية « الصقيع » و« الحجر » لشبه الكبير بهما .

ويوجد الكريولايت طبيعيا في أرجاء متفرقة من العالم ، إلا أنه لا يعرف في الوقت الراهن ، سوى مصدر وحيد للحصول تجاريا على هذا المركب الكيميائي ، ويقع هذا المصدر بمنطقة إيفجت على الشاطئ الغربي لجزيرة جرينلاند ، حيث تتوافر كميات كبيرة من الكريولايت الصالح للاستخدام صناعيا .

ونظرا لارتفاع سعر الكريولايت وصعوبة استيراده ، يحصل عليه حاليا ، وكذلك على مكونه فلوريد الألومنيوم (لوفل ٣) ، وفلوريد الصوديوم (ص فل) ، من الفلورسبار بطريقة اصطناعية .

وللحصول على الكريولايت اصطناعيا ، يجري تركيز الفلورسبار الطبيعي بالطرق الميثالورجية الفيزيائية المختلفة للحصول على خام مركز يحتوي على فلوريد الكلسيوم (كافل ٢) بنسبة تصل إلى ٩٦٪ . ومن هذا الخام المركز ، يمكن الحصول على الكريولايت وعلى غيره من أملاح الفلور بالطرق الحمضية ، كما في الشكل (٢٦) ، حيث يسخن الفلورسبار بعد خلطه بحمض الكبريتيك تحت درجة حرارة ٢٠٠°م ، في أفران أنبوبية دوارة ، فيتولد غاز فلوريد الهيدروجين (يد فل) ، وتتكون كبريتات الكلسيوم ، تبعا للتفاعل التالي :



ويتفاعل جزء من فلوريد الهيدروجين (يد فل) مع السليكا ، وينتج عن هذا التفاعل تكون المركب سيليكو فلوريد الهيدروجين (يد ٢ س فل) طبقا للتفاعل التالي :



الخطوة الثانية : $\text{س فل} + ٢ \text{ يد فل} = \text{يد}٢ \text{ س فل}$

إدماج الخطوتين معا : $\text{س فل} + ٦ \text{ يد فل} = \text{يد}٢ \text{ س فل} + ٢ \text{ يد}٢ \text{ أ}$

وتجرى الخطوة الثانية عادة خارج الفرن ، حيث يتم الحصول على محلول حمض الهيدروفلوريك

(يد فل) مختلطا بقليل من حمض الهيدروكلسيك (يد٢ س فل) .

وتضاف كربونات الصوديوم إلى حمض الهيدروفلوريك لتنقيته ، ويؤدي ذلك إلى تكون

المركب سيليكو فلوريد الصوديوم (يتسم بأنه شحيح الذوبان في الماء) ، كما في التفاعل الآتي :



الذي ينتج عنه ترسيب المركب سيليكو فلوريد الصوديوم ص٢ س فل ، وبذلك يمكن التخلص

من السيليكا الموجودة بالحام .

وبعد تنقية حمض الهيدروفلوريك ، تذاب فيه كمية محسوبة من الألومينا ثلاثية الهيدرات

(لو٢ أ ، ٣ يد٢ أ) كما في التفاعل التالي :



وتجرى معادلة حمض الهيدروفلوريك (يد٣ لو فل) الناتج من هذا التفاعل في نفس الجهاز ،

بإضافة كربونات الصوديوم للحصول على الكريوليت الشحيح الذوبان في الماء ، ويخضع التفاعل

للمعادلة التوضيحية الآتية :



ويمكن كتابة الصيغة الكيميائية للكريوليت ص٣ لو فل على هيئة مركب مزدوج لفلوريد

الصوديوم والألومنيوم ، أي هكذا : (لو فل٣ ، ٣ ص فل) .

بعد ذلك يتم فصل الكريوليت الذي يكون قد ترسب لذوبانه الشحيح في الماء حيث يغسل ،

ويجفف عند درجة حرارة ١٦٠° م .

وإذا كان الهدف هو الحصول على أملاح الفلور الأخرى مثل فلوريد الألومنيوم لو فل٣ ،

أو فلوريد الصوديوم ص فل ، فيمكن الحصول عليهما بمعاملة حمض الهيدروفلوريك لمعادلته

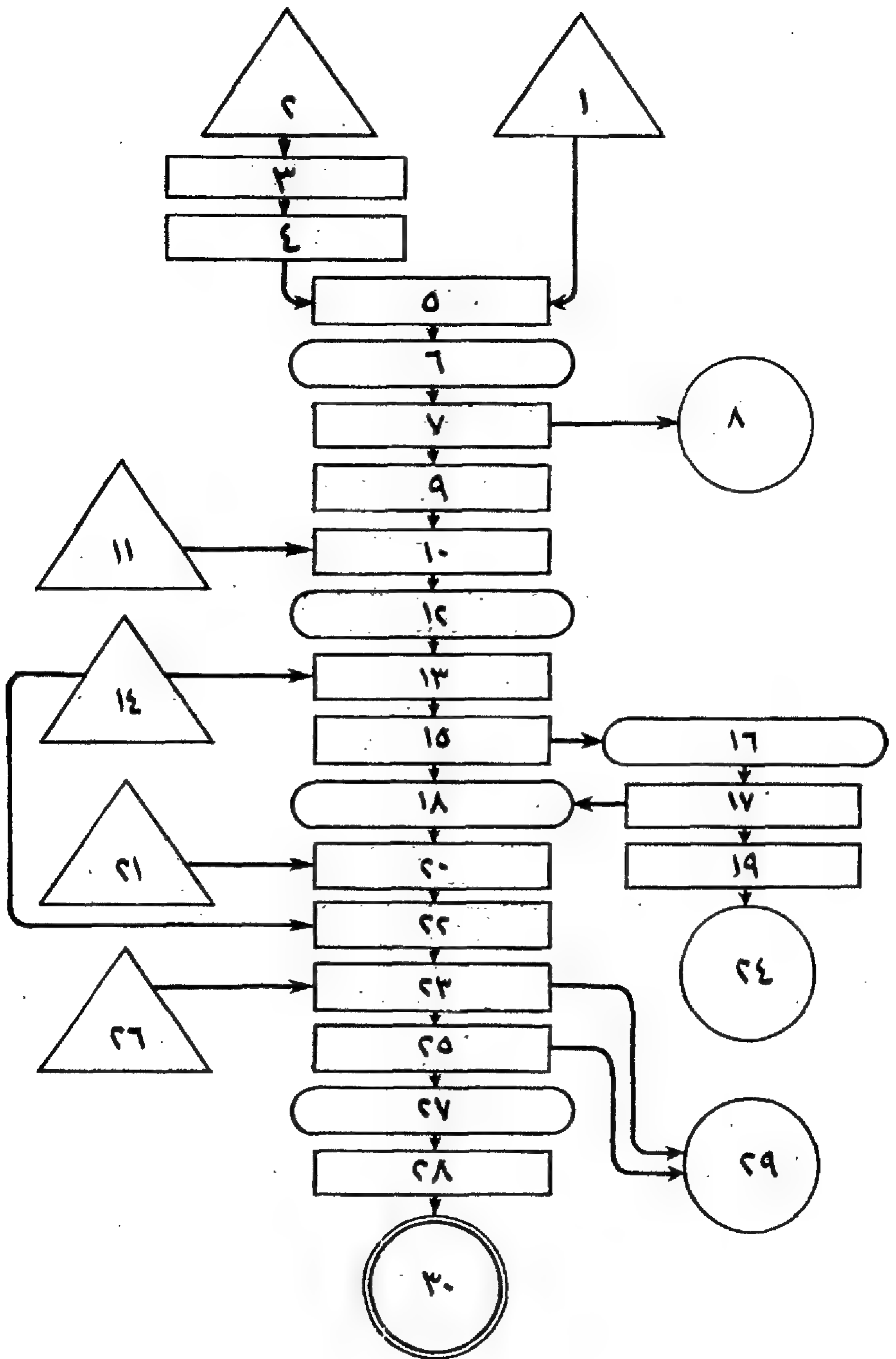
بهيدروكسيد الألومنيوم ، أو بكربونات الصوديوم على الترتيب :



وتتطوى عمليات إنتاج الكريوليت بالطريقة الحمضية على عدة أخطار جسيمة ، إذ يتسم

فلوريد الهيدروجين يد فل ، وحمض الهيدروفلوسيليك يد٢ س فل ، بسمية عالية يجب الوقاية

منها ، كما تستلزم استخدام أجهزة تقاوم الأحماض ، مما يزيد من تكاليف العملية .



شکل (۲۶)

رسم توضيحي يبين العمليات المتعاقبة لإنتاج الكريولايت اصطناعيا بأسلوب حمض :

- ١ - حمض كبريتيك
- ٢ - فلورسبار طبيعي مركز
- ٣ - عملية الطحن
- ٤ - عملية التجفيف
- ٥ - خلط ركاز الفلورسبار مع حمض الكبريتيك
- ٦ - اللباب الناتج (فلورسبار + حمض كبريتيك) .
- ٧ - شحن اللباب في فرن دوار يعمل عند درجة حرارة ٢٠٠ °م
- ٨ - كبريتات كلسيوم (جبس) بجرى التخلص منها كنفاية
- ٩ - تنقية الغازات المتكونة - معظمها غاز فلوريد الهيدروجين
- ١٠ - عملية امتصاص غاز فلوريد الهيدروجين بواسطة الماء لتكوين حمض الهيدروفلوريك.
- ١١ - ماء يستخدم في امتصاص غاز فلوريد الهيدروجين
- ١٢ - حمضا الهيدروفلوريك، والهيدروسليسيك.
- ١٣ - التخلص من السليكا
- ١٤ - صودا مخمصة
- ١٥ - جهاز فصل السائل عن اللباب
- ١٦ - لباب
- ١٧ - عملية الترشيع
- ١٨ - حمض الهيدروفلوريك
- ١٩ - عملية التجفيف
- ٢٠ - الخطوة الأولى في إنتاج الكريولايت
- ٢١ - هيدروكسيد الألومنيوم
- ٢٢ - الخطوة الثانية في إنتاج الكريولايت
- ٢٣ - غسل النواتج
- ٢٤ - مركب سليكوفلوريد الصوديوم
- ٢٥ - عملية الترشيع
- ٢٦ - ماء يضاف لغسل النواتج
- ٢٧ - عجينة الكريولايت
- ٢٨ - عملية تجفيف عجينة الكريولايت
- ٢٩ - محلول به شوائب يجري التخلص منه
- ٣٠ - الكريولايت الناتج

وهناك طريقة أخرى قاعدية يمكن تطبيقها للحصول على الكريولايت ، وتتلخص فكرتها في تليد الفلورسبار مع كربونات البوتاسيوم والسليكا غير المتبلورة . وتحتوى الكتلة الملبدة الناتجة على فلوريد البوتاسيوم (بوقل) القابل للذوبان في الماء . ومن الممكن معاملة هذه الكتلة الملبدة لترسيب بلورات فلوريد الصوديوم (صقل) بإضافة كربونات الصوديوم . ويرسب الكريولايت الصوديوم بإضافة بلورات فلوريد الصوديوم إلى محلول الألومينات . وتتخذ في كل هذه العمليات إجراءات الأمان ، حتى لا تتصاعد أو تتولد أية غازات سامة تشكل خطرا على صحة العاملين .

(ب) إنتاج الإلكترودات الكربونية ومواد الأنود :

لإنتاج الألومنيوم بواسطة التحليل الكهربائي لمصهور الألومينا ، تستهلك كميات من المواد الكربونية التي تستخدم في تبطين الخلايا الإلكتروليتية وتكون بمثابة كاثود (مهبط) للخلايا في نفس الوقت ، إلى جانب مواد كربونية يصنع منها أنود (مصعد) الخلايا ، هذا بالإضافة إلى ألواح كربونية تستخدم في تبطين الجدران الجانبية لحوض تجميع الألومنيوم .

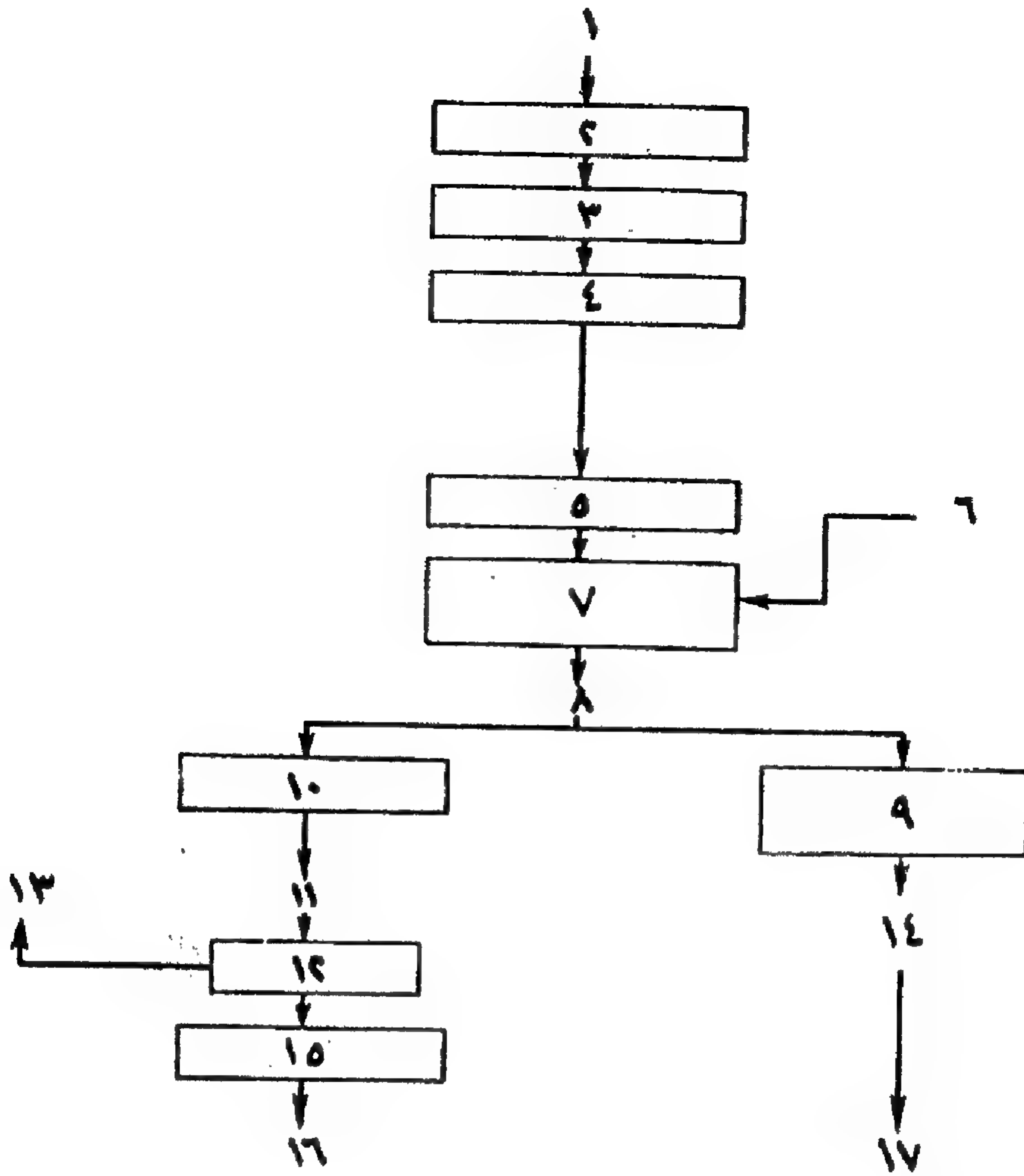
ولإنتاج هذه المواد الكربونية التي تستنفد وتستبدل بها غيرها ، يجب أن تصنع من مركبات كربونية تحتوى على أقل قدر من الرماد ، وإلا فإنه يتخلف عنها عند استهلاكها ، ويدخل في تركيب الألكتروليت المنصهر ، ومن ثم يسبب تلوث الألومنيوم الفلزى .

بالإضافة إلى ذلك ، يجب أن تكون هذه المنتجات الكربونية بمثابة كافية فلا تقل مقاومتها للضغط عن ٢٥٠ كجم/سم^٢ ، كما يجب أن تكون كثيفة فلا تزيد المسامية بها على ٢٥٪ .

ويستخدم نوعان من المواد الأولية في إنتاج الأقطاب الكهربائية (الإلكترودات) هما المادة الكربونية الصلبة التي يجهز منها قوام القطب الكهربائي ، والمادة اللاصقة التي تجمع حبيبات المادة الكربونية في جسم صلب .

ومن المواد الصلبة التي يمكن استخدامها ، الأنواع الجيدة من فحم الأنثرايسيت ، وفحم الكوك البترولى أو القارى ، اللذان يتخلفان عن عمليات تكرير البترول الخام ، أو بقايا تقطير الفحم الحجري . وهذه المواد جميعا تمتاز بانخفاض نسبة الرماد بها ، فهي لا تزيد على ٠,٤٪ . ومن المواد اللاصقة التي يمكن استخدامها القطران ، وهو نتاج مرحلة متوسطة عند تقطير قار الفحم الحجري .

ويمثل الشكل (٢٧) رسما توضيحيا لخطوات تصنيع هذه المواد الكربونية ، وفيها يطحن فحم الأنثرايسيت أو فحم الكوك البترولى أو القارى إلى أحجام ٣٠-٥٠ مم في طواحين مناسبة (انظر العمليات الميتالورجية الفيزيائية) ، ثم تدخل الأحجام المناسبة أفران تجميع دوارة ، أنبوبية الشكل ، لتجفيفها أثناء عملية تقطير إتلافية جزئية عند درجة حرارة ١٣٠٠°م ،



شكل (٢٧)

رسم توضيحي يبين الخطوات المتعاقبة عند تصنيع المواد الكربونية اللازمة في صناعة الألومنيوم :

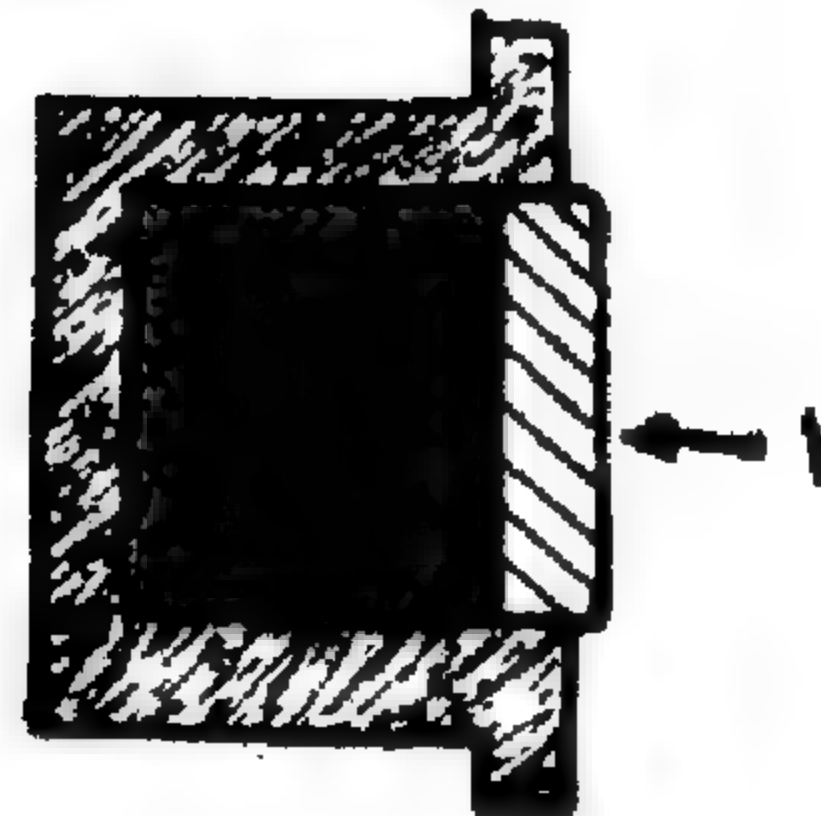
- | | |
|--|------------------------------------|
| ١ - مواد كربونية صلبة | ٢ - عملية التكسير |
| ٣ - تجميع المواد الكربونية بعد تكسيدها | ٤ - طحن المواد الكربونية المحمصة |
| ٥ - التصنيف | ٦ - مواد لاصقة (قطران) |
| ٧ - إضافة المواد اللاصقة والخلط | ٨ - المسادة الكربونية الناتجة |
| ٩ - الصب في قوالب تشكيل | ١٠ - الكبس إلى الأشكال المطلوبة |
| ١١ - الإلكتروودات الخضراء | ١٢ - تجميع الإلكتروودات الخضراء |
| ١٣ - مواد طيارة | ١٤ - قوالب كربونية |
| ١٥ - فحص (قفطيش) المنتجات الكربونية | ١٦ - الإلكتروودات بصورتها النهائية |
| ١٧ - إلى الأنودات المستمرة | |

حيث تتصاعد المواد الطيارة من الفحم فلا تزيد نسبتها المتبقية على ٢,٠٪ . وأثناء التحميص تزداد متانة المواد الكربونية ، وموصليتها للكهرباء . وبعد التحميص ، تطحن المواد الكربونية ثم تنخل لتصنيفها تبعا لأحجام حبيباتها ، ثم تخلط مع المواد اللاصقة .

بعد خلط الشحنة جيدا في خلاطات ميكانيكية عند درجة حرارة ١٢٠°م ، يجرى تشكيل الخليط بالكبس تحت ضغط ٢٥٠-٤٥٠ كجم/سم^٢ ، ويجب ألا يقل الضغط عن الحد الأدنى ، حتى يمكن الحصول على منتجات متينة تقل مساميتها إلى الحد المطلوب ، كما يجب ألا يزيد الضغط على الحد الأقصى ، حتى لا يؤدي ذلك إلى تفتت الحبيبات الصلبة . ويمكن استخدام طرق الكبس في تشكيل المنتجات الكربونية كما في الشكل (٢٨) ، أو طرق البثق للحصول على المنتجات بالأشكال المطلوبة كما في شكل (٢٩) .



شكل (٢٨)
تشكيل المواد الكربونية بطرق الكبس
١ - القوة المسلطة



شكل (٢٩)
تشكيل المواد الكربونية بطريقة البثق
١ - القوة المسلطة

ولا تكون المنتجات بعد تشكيلها بالمتانة المطلوبة ، كما أنها لا تكون ذات موصلية عالية للكهرباء ، وحتى تكتسب المنتجات هذه المواصفات ، يجرى تحميصها بمعزل عن الهواء عند درجة حرارة ١٤٠٠°م في أفران مناسبة لمدة قد تصل إلى عشرة أيام ، فتتفحم المادة اللاصقة ، وتحسن خواص المنتجات التي يجرى تبريدها بمعدل بطيء حتى لا تتعرض للتشقق . وعند إنتاج مادة الأنود (المصعد) لا يكون ضروريا إجراء عمليتي الكبس والتحميص . وتتميز الشحنة التي تصنع منها هذه المادة باحتوائها على نسبة عالية من المادة اللاصقة ، وبعدم احتوائها على الأنثراسيت .

٤ - إنتاج الألومينا

المبادئ الأساسية لإنتاج الألومينا بطريقة « باير » :

نتعرض فيما يلي للاعتبارات الكيميائية التي تتحكم في العمليات المختلفة لإنتاج الألومينا بطريقة « باير » .

من الممكن تطبيق هذه الطريقة في نطاق عريض من درجات الحرارة المختلفة ومحاليل بتركيزات متباينة . ويتضمن اختيار الظروف المختلفة تقييما اقتصاديا معقدا ، استنادا إلى عوامل مختلفة كاستهلاك المواد الخام ، وتكاليف التشغيل ، ورأس المال اللازم .

وعادة ، يمكن معاملة الألومينا التي يحتويها البوكسايت كيميائيا عند درجات حرارة منخفضة بواسطة محاليل ذات تركيز منخفض نسبيا من الصودا ، إذا ما كانت الألومينا في صورة هيدرات ثلاثية (لو_٢ أم ، ٣ يد_٢ أ) ، بينما تستخلص الألومينا أحادية الهيدرات (لو_٢ أم ، يد_٢ أ) اقتصاديا عند درجات حرارة أعلى ، ومحاليل أكثر تركيزا . وبما هو جدير بالذكر ، أنه في الممارسة الحديثة ، تزايد أهمية الخامات التي تختلط بالألومينا الموجودة في كلا الصورتين الهيدرات الثلاثية والأحادية ، كخامات البوكسايت التي توجد بأستراليا ، وجمايكا ، وغرب أفريقيا . وقد يكون إقتصاديا في بعض الحالات ، استعادة الألومينا في صورة الهيدرات الأحادية ، خاصة إذا كان مصنع الألومينا قريبا من مناجم البوكسايت . ومن الممكن معاملة الخامات المختلطة بنفس طريقة معالجة الألومينا النقية .

ومن ناحية أخرى ، فإنه يمكن اختيار الظروف التي تم فيها عملية الاستخلاص ، بحيث تكون مناسبة لاقتصاديات الوحدة ككل ، وليس كهدف فقط لاستخراج الألومينا . فمثلا يجري استخلاص الألومينا عند درجات حرارة مرتفعة (٢٤٠°م) ، لتعطى فورا وبصورة اقتصادية ، ألومينا نقية تحت ظروف معينة . كما يتم الحصول في نفس الوقت على كميات كبيرة من الماء المصعد (بخار الماء) اللازم لدوائر غسل البقايا والنواتج . وينتج عن هذه الطريقة أيضا ، عند تطبيقها على البوكسايت ، راسب ذو خواص جيدة نسبيا من حيث الترسيب والترشيح ، مع سرعة إزالة السيليكون من السائل .

وفي العادة ، يتم اختيار ظروف الاستخلاص لتسهيل عمليات إزالة السيليكا . فالسيليكا الموجودة كطفل وغيره من السيليكات ، تتداوب مبكرا في المراحل الأولى من عملية الاستخلاص عند درجات حرارة منخفضة . وعموما لا تتأثر السيليكا الموجودة في البوكسايت ككوارتز خلال عملية الاستخلاص عند درجات حرارة منخفضة . ويجب استبعاد السيليكا الذائبة من المحلول في صورة سيليكات الصوديوم الألومنيومية خلال عملية الاستخلاص ، ولذلك فهي تؤدي إلى فقد جزء من الصودا من المحلول ، كما تضيع كمية ألومينا من الخام . وفي العادة يجري فصل

بقايا البوكسايت بعد عملية الاستخلاص ، وإزالة السيليكون بعد تحويل المحلول إلى محلول جديد بتركيب كيميائي مختلف ، ثم التبريد إلى درجة حرارة الغليان تحت الضغط الجوى المعتاد . ويمكن إجراء عملية الفصل المبدئية في معدات لترسيب والتغليظ المستمرين ، تتبعها عمليات ترشيح ، استنادا إلى الخواص المميزة بالنسبة للترشيح والترسيب المتبقى .

وبفصل المتبقى من المفلظ أو المرشح ، فإنه يكون متضمنا مقدارا لا بأس به من كل من الصودا والألومينا في المحلول . وعموما يمكن استعادتها بغسل المتبقى عدة مرات متتالية بالماء .

وبعد الحصول على المحلول الناتج عن عمليات الترشيح ، يجرى تبريده قبل شحنه إلى المحلل . ويتم التحلل أساسا في أحواض يجرى تقليلها ، ويختلف تشغيلها اختلافا بينا في شتى مصانع العالم . ويمكن أن يتم التشغيل بصورة متقطعة ، حيث يتم الحصول على أقراص عجينية من الراسب .

ويجرى فصل الألومينا المتشبة من أجهزة التحلل ثم تغسل . وتدخل المركبات الكربونية المحلول خلال المكونات العضوية التي يحتويها البوكسايت ، وأيضا كغاز ثاني أكسيد الكربون من الجو ، ويجب إزالة هذه المركبات العضوية خلال دائرة التشغيل .

وفي بعض الحالات ، تميل بعض الشوائب الأخرى (خاصة الثاناديوم ، والفوسفور ، والزنك) إلى التجمع في المحاليل ، حيث يجرى إزالتها بأساليب كيميائية مناسبة .

ويجرى تعويض المحلول عما يفقده من الصودا ، بإضافة بعض الصودا الكاوية أو كربونات الصوديوم . ويجب إزالة الماء الذي يدخل في دائرة التشغيل أساسا كطينة أو كماء للغسيل .

وتميل الاتجاهات الحديثة إلى تبريد المحلول لحظيا بالتبخير (التصعيد) لإزالة بعض هذه المياه أو كلها .

وللتشغيل الاقتصادي ، فإنه من الضروري النظر إلى طريقة « باير » كدائرة مقفلة متكاملة ، يؤثر كل قسم فيها على العملية ككل .

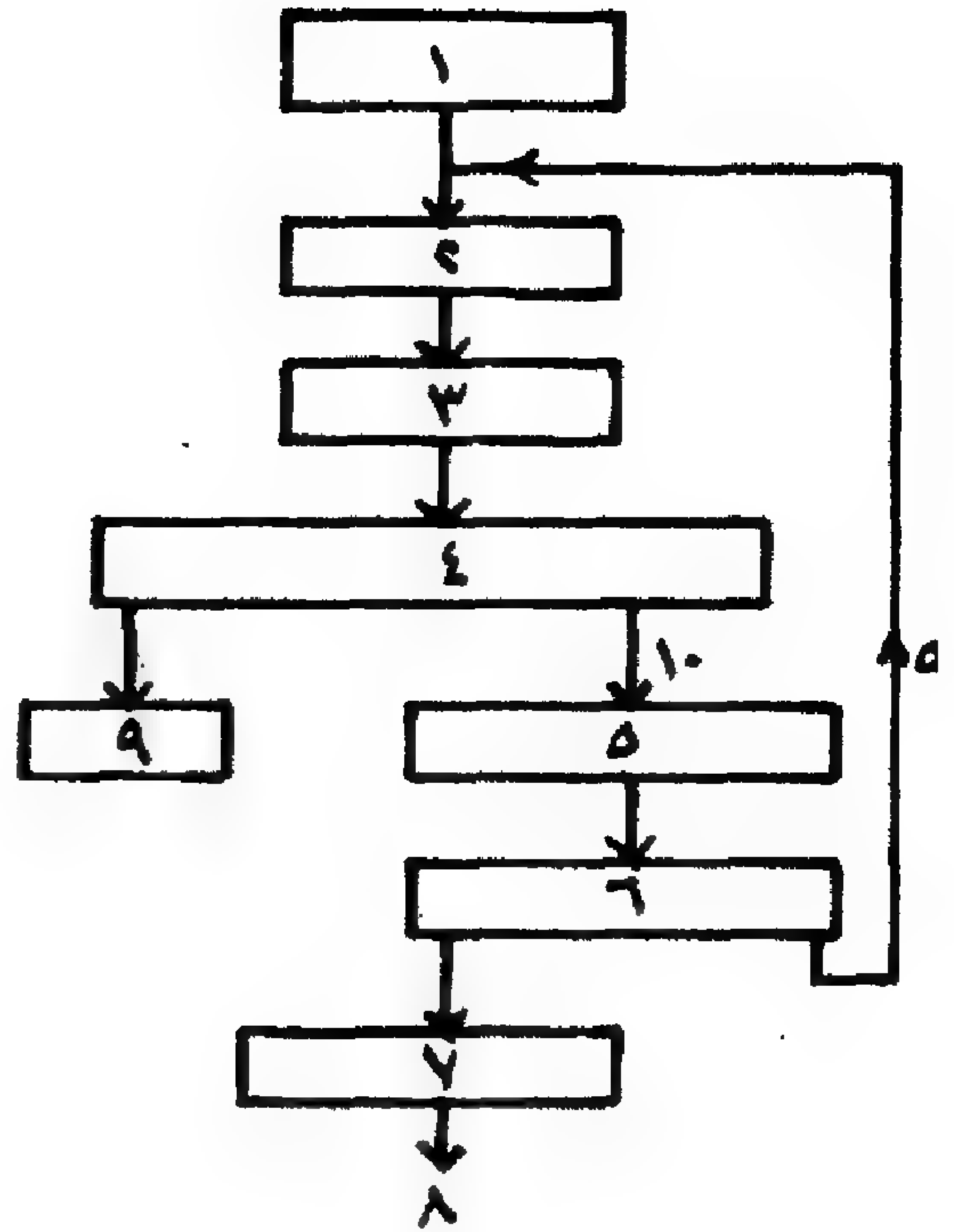
ويوضح الشكل (٣٠) رسما توضيحيا لطريقة باير ، وقد جرى التعبير عن تركيز الصودا بالمكافئ لأكسيد الصوديوم كجرام في اللتر ، وتركيز الألومينا لـ ١٠٠ كجرام في اللتر ، ونسبة المحلول كوزن للألومينا : وزن أكسيد الصوديوم .

مراحل تنقية البوكسايت بطريقة « باير » :

تتعرض خامات البوكسايت لعمليات تعدينية في مناجمه المكشوفة قريبا من سطح الأرض ، أو على العمق في طيات القشرة الأرضية . وبعد استخراج كتل البوكسايت التي تكون عادة كبيرة الحجم ، ومختلطة بكثير من الشوائب ، يجرى عليه عدد من العمليات المتارولوجية الفيزيائية التي

شكل (٣٠)
رسم تخطيطي يوضح الخطوات التكنولوجية
في طريقة « باير » لإنتاج الألومينا في
الصناعة :

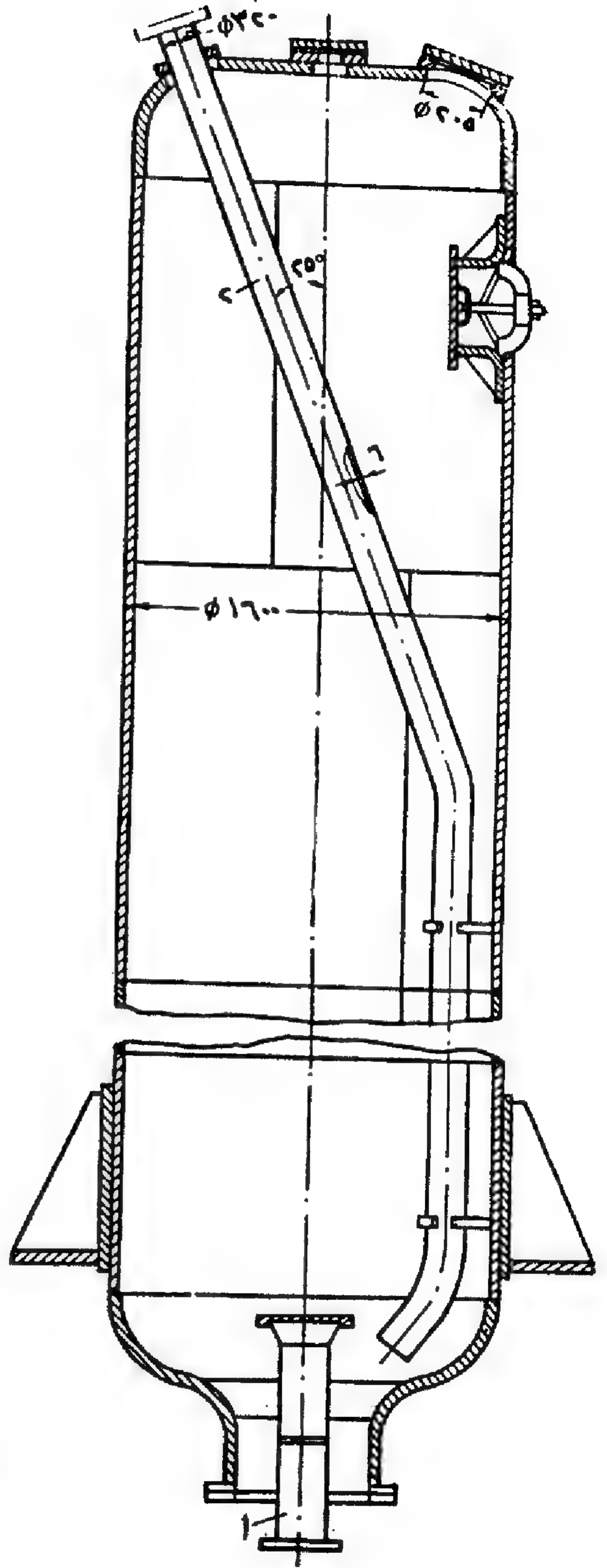
- ١ - بوكسايت .
- ٢ - طحن
- ٣ - هضم كيميائي
- ٤ - مرشحات تغليظية
- ٥ - ترسيب
- ٦ - ترشيح
- ٧ - قارئ دوارة
- ٨ - ألومينا جاهزة للتحليل الكهربائي
- ٩، ١٠ - سائل مرشح



سبق وصفها ، بهدف تركيز خامة البوكسايت ، وإزالة بعض الشوائب منه (كالطفل) ، ثم
يجرى تجفيفها بعد ذلك ونقلها إلى وحدات التنقية لإجراء عدد من العمليات المبتلورية الأخرى
عليه - بعضها عمليات فيزيقية وبعضها الآخر كيميائية - حتى يتم تحويلها إلى ألومينا نقية .

وتشمل طريقة باير ، العمليات الكيميائية والفيزيكية المختلفة التي تنتهي بالحصول على
بلورات نقية من الألومينا (أكسيد الألومنيوم) ، يمكن الحصول منها بطريقة ميسرة على فلز
الألومنيوم . وتبدأ أولى المراحل ، بطحن البوكسايت الذي سبق أن تعرض لعمليات مبتلورية
لتركيزه - طحنا دقيقا . ثم شحنه في أوعية هاضمة تعرف بالأوتوكلافات . والأوتوكلاف ،
الشكل (٣١) ، وعاء ضخم يصنع من الفولاذ ، ومتانته عالية حتى يمكنه تحمل الضغط المرتفع
تحت درجات حرارة تصل إلى ٥٢٠ °م ، وتسمح بإمكانية تقليب اللباب الموجود داخله . وتستخدم
الأوتوكلافات التي يجري تسخينها بواسطة البخار على نطاق واسع لبساطة تصميمها . ويدخل
البخار في هذه الأوتوكلافات خلال الفتحة (١) ، وتعمل فقاعات البخار أثناء تصاعدها
إلى السطح ، على تسخين اللباب وتقليبه بشدة ، وتفرغ محتويات الأوتوكلاف خلال الأنبوبة (٢) .

وهناك نوع من الأوتوكلافات ميكانيكية التقليب ، فيها يجري التسخين بصورة غير
مباشرة ، أي بواسطة مواسير يتدفق خلالها البخار المحمص في معزل عن اللباب ، ولكن كفاءة
هذه الأوتوكلافات منخفضة ، ولها كثير من العيوب .



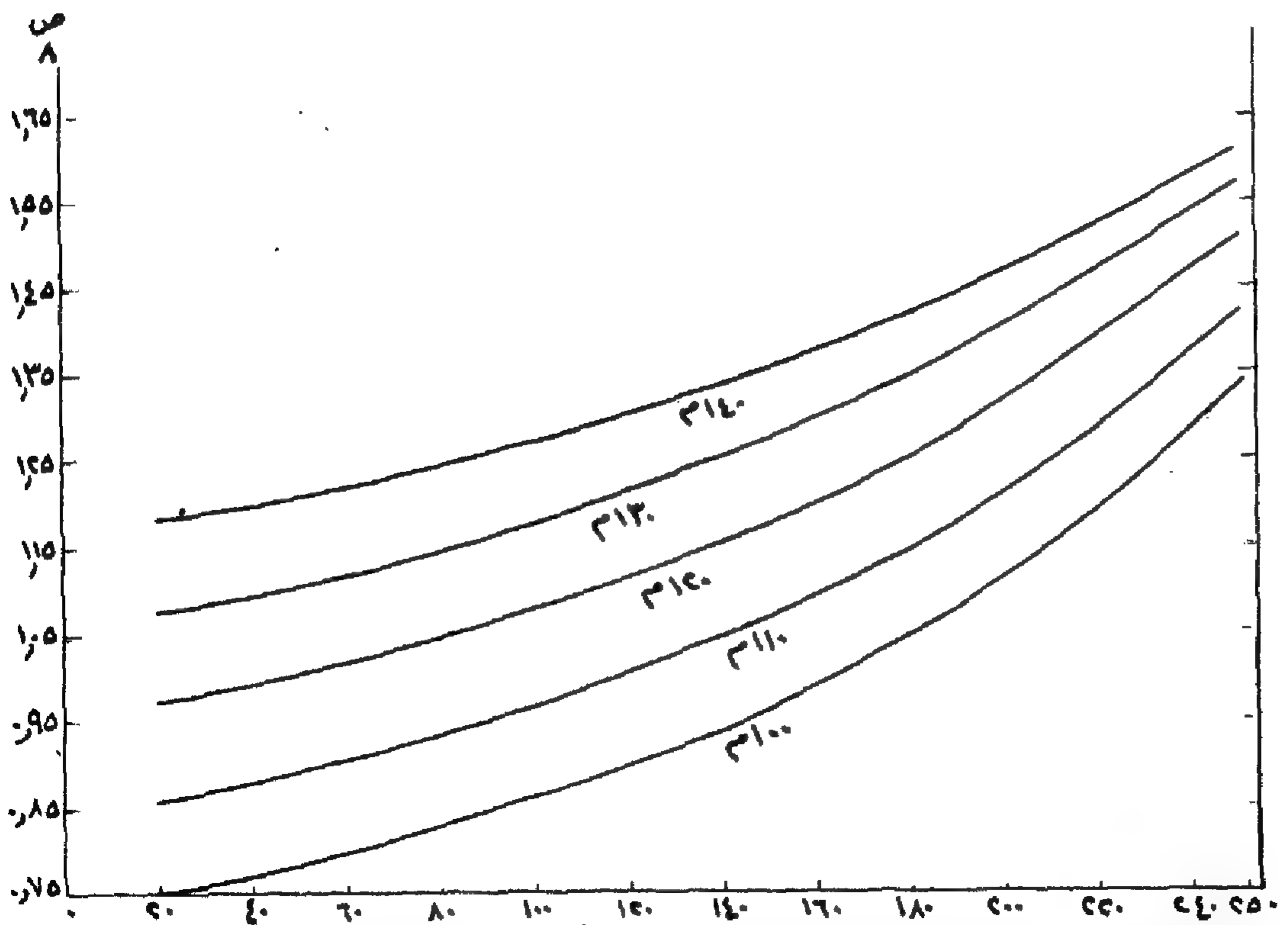
شكل (٣١)
 أوتوكلاف (وعاء هاضم) يعمل بالبخار
 المحمص (درجة حرارته ٢٥٠ م°) :
 ١ - فتحة دخول البخار
 ٢ - أنبوبة يتم خلالها تفريغ محتويات
 الأوتوكلاف

ويعامل اللباب بمحلول الصودا الكاوية تحت ضغط ، حتى يسمح باستخدام درجات حرارة فوق نقطة الغليان ، فيذوب أكسيد الألومنيوم الموجود في البوكسايت مع تفادي انتقال مكونات البوكسايت الأخرى (السيليكات ، وأكاسيد الحديد ، والفانديوم ، وغيرها) إلى المحلول .

وتوجد الألومينا في البوكسايت متميثة على هيئة هيدرات ، كالهيبسايت ، أو الهيدرارجيليت $٣\text{H}_2\text{O}$ ، $٣\text{H}_2\text{O}$ وكالبوهمايت والدياسبور $١\text{H}_2\text{O}$ ، $١\text{H}_2\text{O}$. وفي التشغيل الاقتصادي ، يجري عادة استخلاص الألومينا أحادية الهيدرات عند درجات حرارة أعلى من ١٦٠°C ، وباستخدام محاليل مركزة نسبيا تصل إلى ٣٢٠ جرام/لتر وفوق أكسيد الصوديوم . وذائبية الألومينا ثلاثية الهيدرات عالية . ولذلك يمكن استخلاص الألومينا منها عند درجة حرارة أقل ، وقد تصل إلى ١٥٠°C ، وبواسطة محاليل أقل تركيزا .

ومما هو جدير بالذكر ، أنه عند درجات حرارة أعلى من ١٤٠°C ، وبمعدل يتزايد بارتفاع درجة الحرارة ، وازدياد قوة تركيز الصودا ، تتحول الألومينا ثلاثية الهيدرات ، إلى ألومينا أحادية الهيدرات .

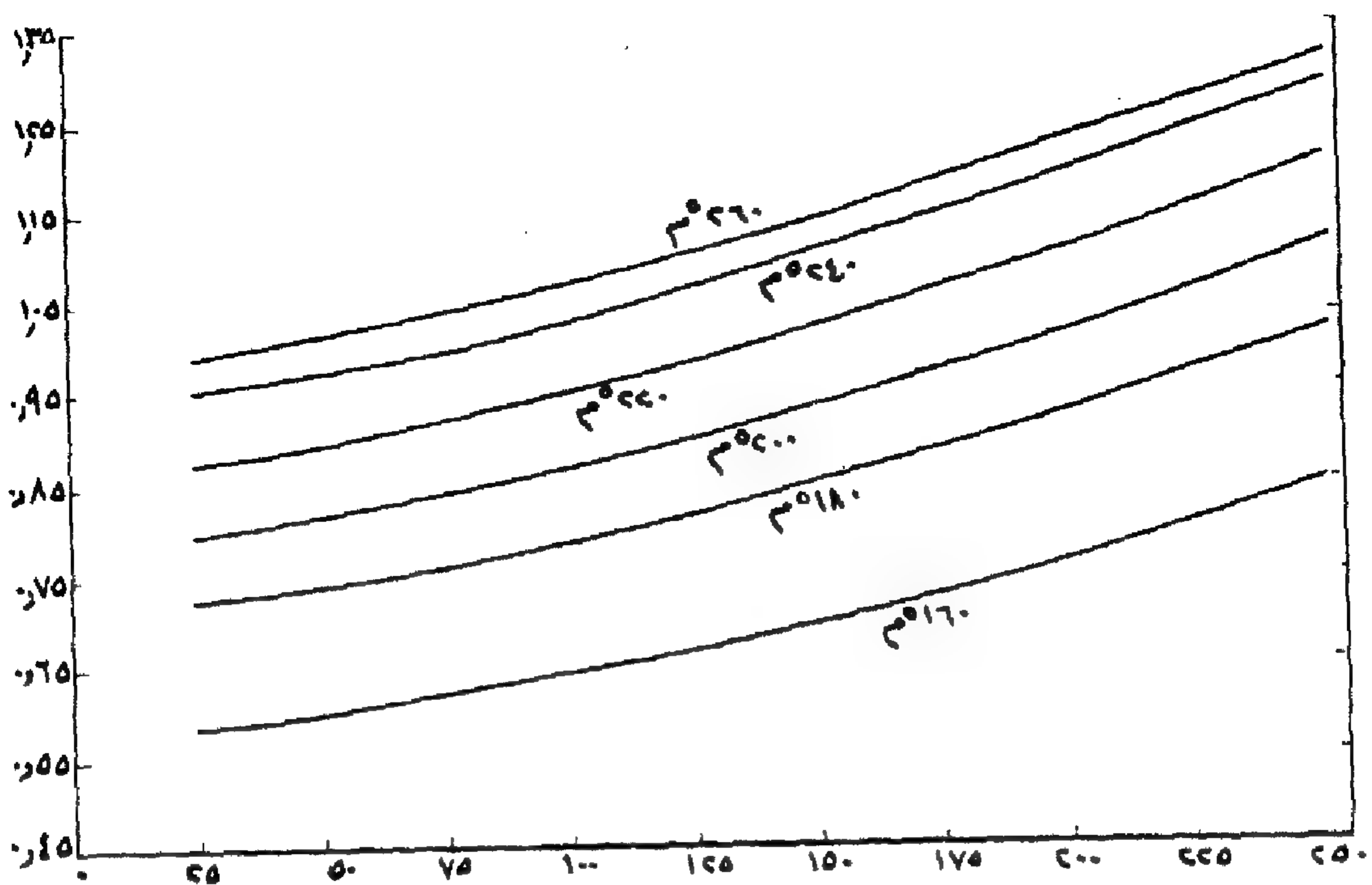
وبين الشكلان (٣٢ ، ٣٣) الذائبية العظمى للألومينات في صورتها : ثلاثية الهيدرات ، وأحادية الهيدرات على الترتيب ، في صورة منحنيات لنسبة الإتران : (وزن $٣\text{H}_2\text{O}$ / وزن ص ٢ المفردة أو الكاوية) .



شكل (٣٢) نسب الإتران للألومينا ثلاثية الهيدرات تشمل درجات الحرارة من ١٠٠ حتى ١٤٠°C :

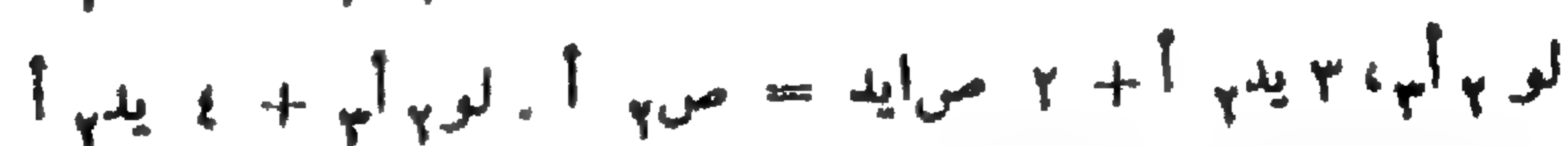
المحور س : تركيز الصودا غير المتحدة (جرام / $١\text{H}_2\text{O}$ ص ١)

المحور ص : نسبة الإتران ، وزن $٣\text{H}_2\text{O}$ / وزن ص ٢



شكل (٣٣) نسب الإلتزان للألومنيا أحادية الهيدرات تشمل درجات الحرارة من ١٦٠ حتى ٢٦٠ م°:
 المحور س : تركيز الصودا غير المتحدة (جرام / ١ ص ٢)
 المحور ص : نسبة الإلتزان ، وزن لو ٢ أم / وزن ص ٢ أ

ولا يتأثر الإلتزان بقدر ملموس بوجود كربونات الصوديوم ، وكلوريد الصوديوم ، أو مواد عضوية . ويتفاعل أكسيد الألومنيوم (في صورتيه المتميئين الأحادية والثلاثية) كما يلي :



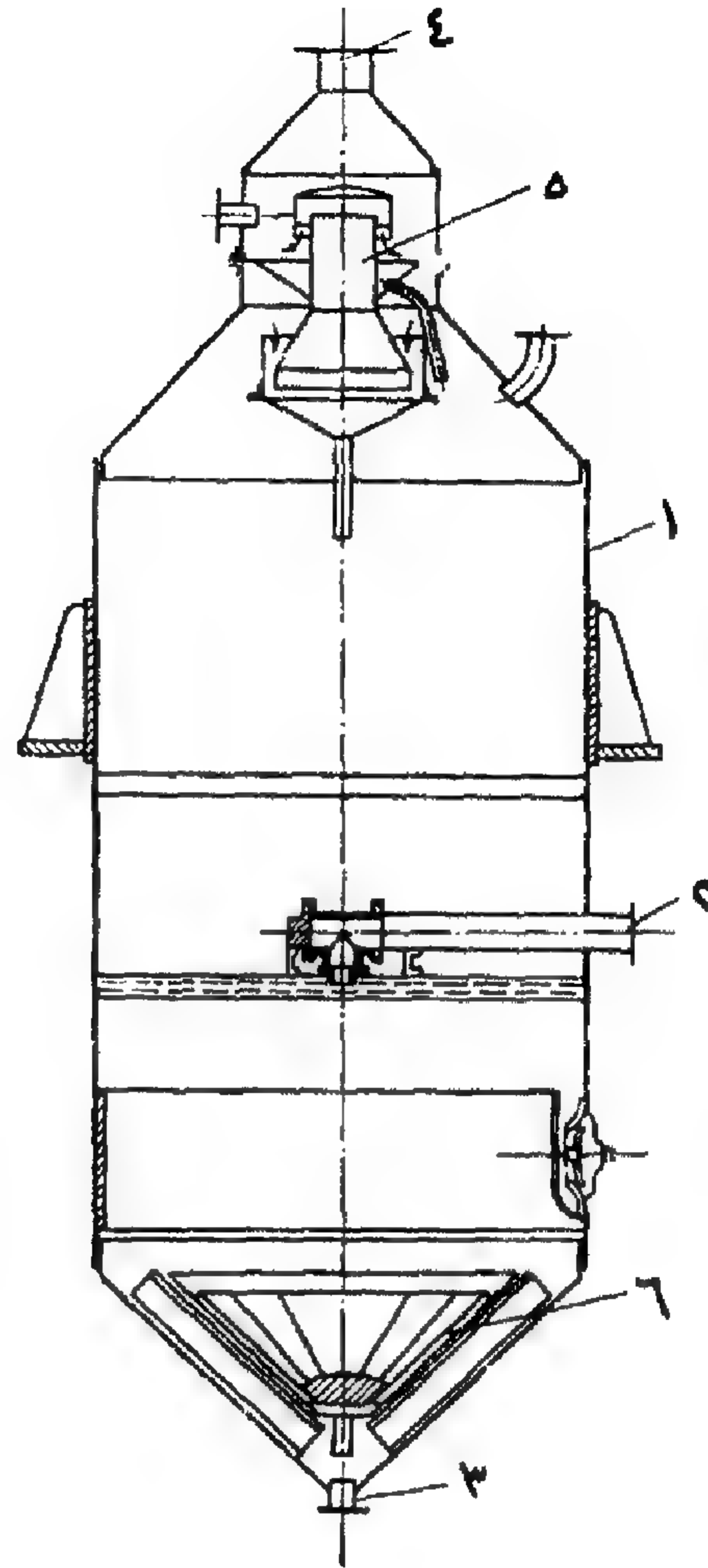
وتتكون الصودا الكاوية نتيجة تفاعل الجير الحى (كا أ) مع كربونات الصوديوم (ص ٢ ك أ) في وجود الماء كما يلي :



ونتيجة لذلك ترسب كربونات الكلسيوم (كا ك أ) لعدم قابليتها للذوبان في الماء ، وتتبقى الصودا الكاوية في المحلول لتحافظ على قوة المحلول الكاوى .

وفي الأوتوكلاف ، يتفاعل هيدروكسيد الصوديوم عند درجات الحرارة المرتفعة مع

حرارة الباب في المسخنات ، وتسخين الماء اللازم لغسل الطينة الحمراء . وتتوقف العوامل المتغيرة المختلفة في عملية هضم البوكسايت ، مثل فترة دوام الهضم ، ودرجة الحرارة ، ونسبة الصنف إلى الصلب إلى الصنف السائل ، ودرجة نعومة حبيبات البوكسايت ، إلخ .



شكل (٣٤) رسم توضيحي لفواصل البخار
 ١ - هيكل الجهاز ٢ - أنبوبة دخول الباب
 ٣ - تفريغ الباب ٤ - فتحة تصريف البخار
 ٥ - وعاء تجميع قطرات المحلول
 ٦ - عارضة

وتؤثر الصورة المعدنية للبوكسايت تأثيرا بالغا على سرعة ذوبان البوكسايت في القلويات . وتتراوح درجة النعومة اللازمة لهضم البوكسايت من ٨٣,٠ إلى ١٠٦,٠ مم .

ويدفع المحلول ، الذي يحمل الطينة الحمراء كعلق فيه ، خلال مواسير تضخ المحلول الذي يحتوي على الألومينا المستخلصة على هيئة ألومينات الصوديوم ، إلى صهاريج ترسيب تعرف بالمرسبات ، حيث يتم فصل الطينة ككتافيات بعد غسلها مرات عديدة لاسترجاع ما تحمله من ألومينات الصوديوم . ويوجه السائل إلى مرشحات ورقية ، أو مرشحات تعمل بالضغط (انظر العمليات الميتالورجية الفيزيائية) ، حيث ينغذ المحلول كرشيع رائق ، وتتخلف الطينة الحمراء

على القماش . ثم يوجه الرشيع الرائق إلى العملية التالية ، وهى عملية الترسيب أو التحلل ، وتجرى هذه العملية فى صهاريج مناسبة ، وتضاف إلى المحلول بعض البلورات الدقيقة من هيدروكسيد الألومنيوم ، التى تم الحصول عليها من عمليات سابقة ، وتدور هذه البلورات دائريا خلال المحاليل حيث تستخدم فى كل عملية كنوى تنمو عليها بلورات هيدروكسيد الألومنيوم ، إذ أنه من الأسهل نمو البلورات على نوى عن تكوينها أساسا . وتبريد المحلول فى الصهاريج ، ينعكس اتجاه التفاعل السابق الذى يحدث عند درجات حرارة عالية فى الأوتوكلاف :



وبهذا تتحلل ألومينات الصوديوم ، وينتج هيدروكسيد الألومنيوم ومحلول عكر .

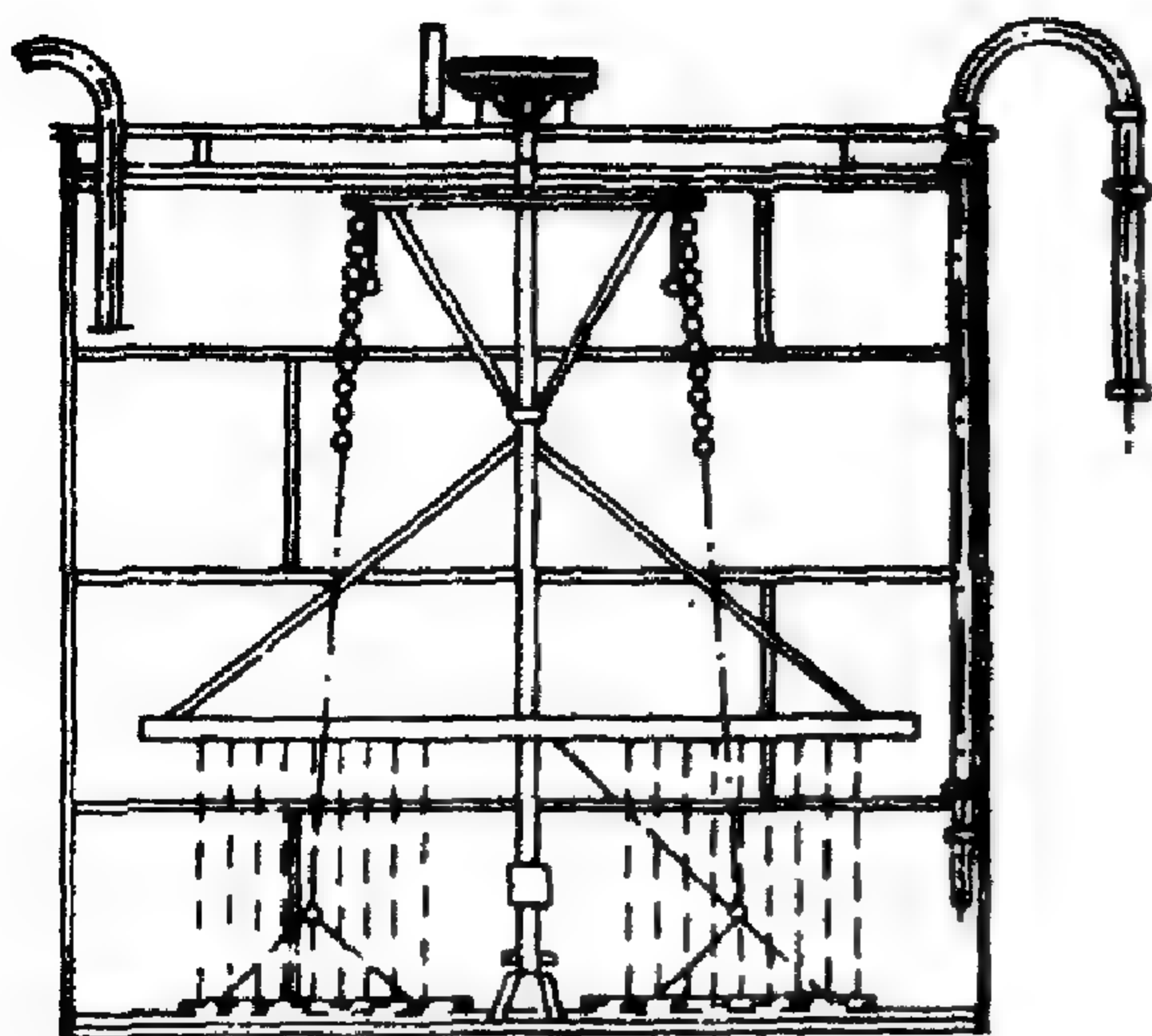
وتعتمد فكرة ترسيب هيدروكسيد الألومنيوم أساسا على خواص تتميز بها أملاح الألومينات . فالومينات الفلزات القلوية ، كالصوديوم والپوتاسيوم والكالسيوم ، أملاح تتكون نتيجة تفاعل حمض ضعيف هو حمض الميتا ألومينيك (بد لو أ) ، مع قاعدة قوية (هيدروكسيد فلزات الأتلاء : الصوديوم وغيره) .

ومن الصفات المميزة لهذه الأملاح ، تحللها فى وجود الماء إلى شقيها . ولما كان هذا التفاعل عكسى ، أى قابل لعكس اتجاهه ، لذلك فإن ألومينات الصوديوم غير المتحللة والصودا الكاوية وهيدروكسيد الصوديوم ، تكون موجودة جميعا فى المحول آنيا (أى فى نفس الوقت) . وفى البداية يكون هيدروكسيد الألومنيوم ذائبا فى المحلول فى أغلب الأحوال ، ولكن سرعان ما يبدأ فى الانفصال عن المحلول على هيئة راسب بلورى .

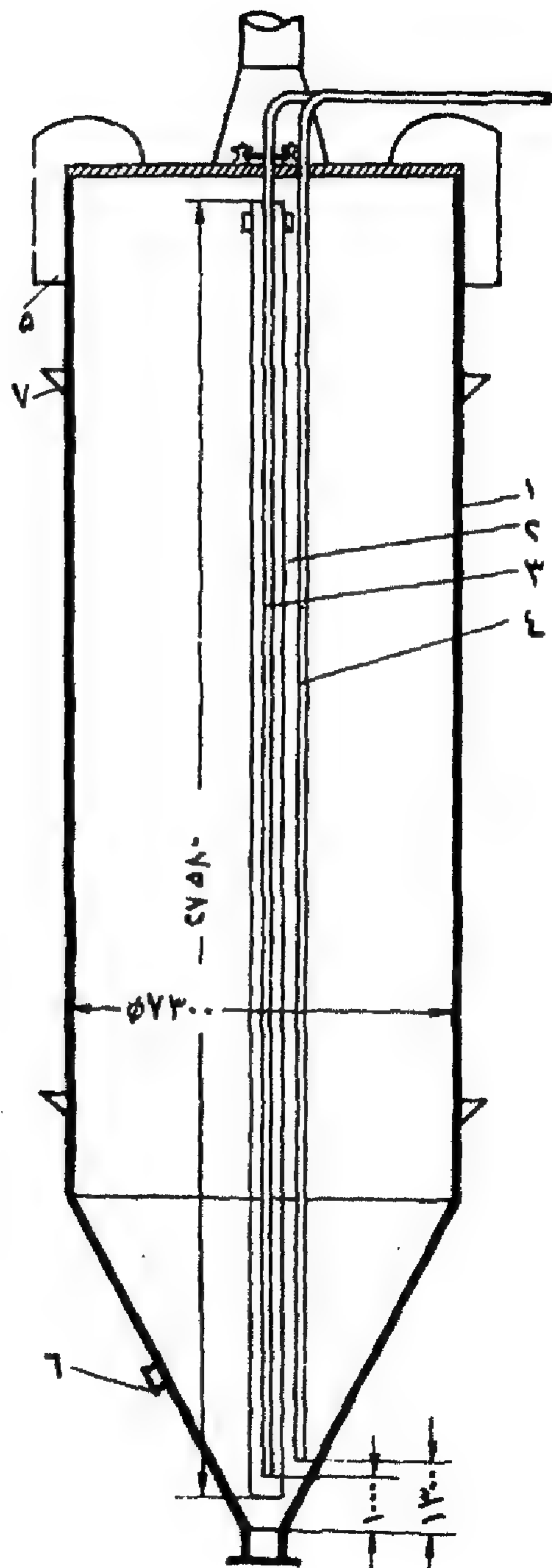
ومن الممكن إيقاف تحلل الألومينات بالماء ، إذا زاد مقدار النسبة الكاوية لهذا المحلول ، بل يمكن أن يتجه التفاعل إلى اليمين ليكون ألومينات الصوديوم ، إذا ما أصبحت النسبة الكاوية عالية جدا . وهذا ما يحدث بالفعل فى الأوعية الهاضمة والأوتوكلافات ، ولكن تحت درجة حرارة مرتفعة .

ويمكن قلب الباب بقلاب ذى سلسلة ، أو بواسطة الهواء المضغوط ، حتى يتساوى تركيز المحلول فى سائر الباب ، ولمنع نوى التبلور من الترسيب . ويبين الشكلان (٣٥) ، (٣٦) رسمين تخطيطيين للأجهزة التى تجرى فيها عملية الترسيب .

وبعد التحليل يجرى غسل هيدروكسيد الألومنيوم الذى تم ترسيبه فى المرسبات لتخليصه من الصودا ، ثم يكلس فى قينة دوارة (مجفف) تحت درجة حرارة تصل إلى ٩٨٠°م للتخلص نهائيا من الماء ، ولتحويل الألومينا إلى صورة بلورية حتى لا تترطب من الهواء الجوى ثانية وتعود مرة أخرى إلى صورة الهيدروكسيد .

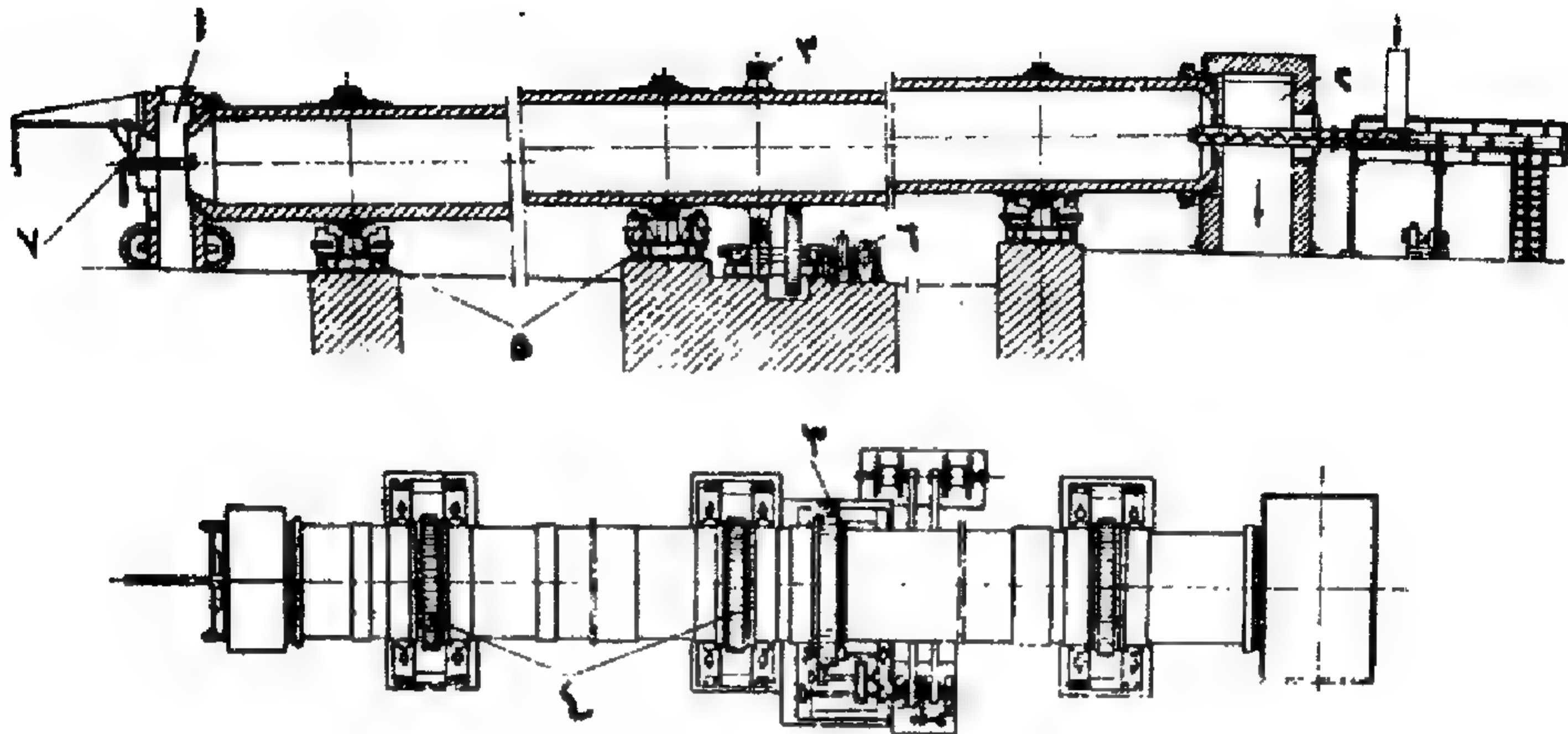


شكل (٣٥)
جهاز تقليب الباب بطريقة ميكانيكية
وتجرى فيه عملية ترسيب هيدروكسيد
الألومنيوم



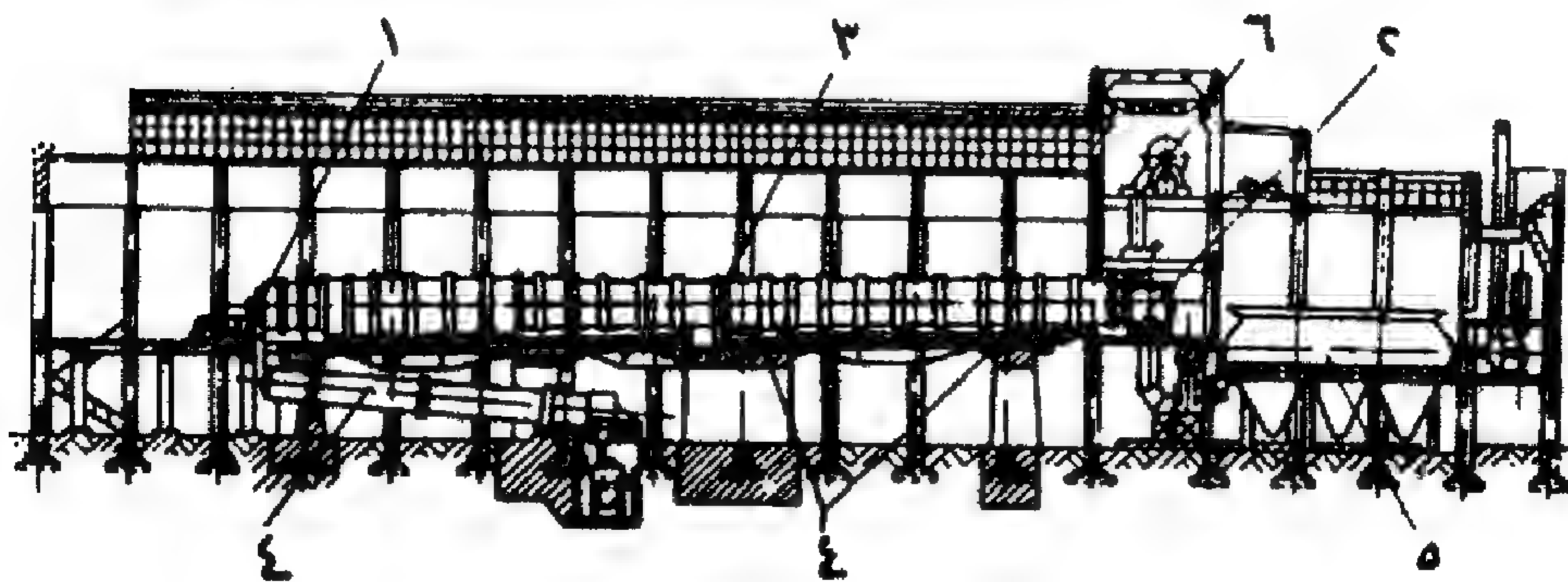
شكل (٣٦) →
جهاز تقليب الباب بواسطة الهواء المضغوط
وتجرى فيه عملية ترسيب هيدروكسيد الألومنيوم
١ - هيكل الجهاز
٢ - ماسورة الهواء
٣ - أنبوبة الهواء الرئيسية
٤ - أنبوبة الهواء الجانبية
٥ - جيب التبريد بالهواء
٦ - فتحة تستخدم للمراقبة بالنظر خلالها
٧ - حلقة التبريد بالهواء

ويبين الشكلان (٣٧) ، (٣٨) الفرن الأنبوبي الدوار (المجفف) وملحقاته . وهذا الفرن يستخدم كثيرا في أغراض تكليس الألومينا .



شكل (٣٧) فرن أنبوبي دوار

- | | |
|------------------------------|-----------------------------|
| ١ - غطاء الحريق | ٢ - فتحة الشحن |
| ٣ - ترس طوق | ٤ - إطارات الارتكاز |
| ٥ - أسطوانات دحرجية للارتكاز | ٦ - صندوق قروس تخفيض السرعة |
| ٧ - المشعل | |



شكل (٣٨) ملحقات الفرن الأنبوبي الدوار الذي يستخدم لتكليس الألومينا

- | | |
|-----------------------|-----------------------------|
| ١ - غطاء فتحة الحريق | ٢ - فتحة الشحن الثابتة |
| ٣ - هيكل الفرن الدوار | ٤ - مبرد دوار |
| ٥ - غرف تجميع الأتربة | ٦ - مرشح أسطواناني بالتفريغ |

ولما كانت المياه التي تستخدم لنقل هيدروكسيد الألومنيوم تضاف إلى المحلول للحفاظ على ما يحتويه من صودا كاوية ، فن الضروري إضافة بعض الجير والصودا آش مع الشحنات التالية للبوكسايت ، حتى تظل القوة الكاوية في المحلول ثابتة ، وبالدرجة المطلوبة .

وتنفصل كربونات الكالسيوم (عمليا عديمة الذوبان في الماء) التي تتكون بالترشيح وتستبد مع الطينة الحمراء . وكما ذكر آنفا ، تتفاعل بعض السيليكا - الموجودة في البوكسايت كشائبة - مع الصودا الكاوية لتكوين مركب معقد من سيليكات الصوديوم والألومنيوم التي لا تذوب في الماء . فإنه لكل كيلو جرام من السيليكا في مركب السيليكات الموجودة بالبوكسايت ، يفقد كيلوجرام من الألومينا ، و كيلوجرام من الصودا الكاوية في الطينة الحمراء .

لذلك فإن طريقة « باير » عند تطبيقها صناعيا لمعالجة خامات بوكسايت رديئة الجودة ، تكون غير اقتصادية بالمرّة .

إنتاج الألومينا بطريقة التلييد :

لما كانت موارد خامات البوكسايت عالية الجودة شحيحة ، فقد أجريت أبحاث مستفيضة تستهدف التوصل إلى إمكانية التعامل مع خامات البوكسايت التي تحتوي على نسبة عالية من السيليكا - وهي متوافرة بكثرة في الطبيعة . وقد أمكن التوصل إلى طريقة هي في الواقع توليفة تقرر طريقة «باير» بأسلوب جديد ، للعمل على استخلاص الألومينا بطريقة اقتصادية .

وتشمل هذه الطريقة الجديدة ، معالجة خام البوكسايت الذي يحتوي على نسبة عالية من السيليكا بتطبيق طريقة «باير» ، ثم الحصول على الطينة الحمراء ومعالجتها هي الأخرى لاسترجاع ما بها من صودا وألومينا متحدين مع السيليكات كشوائب في البوكسايت .

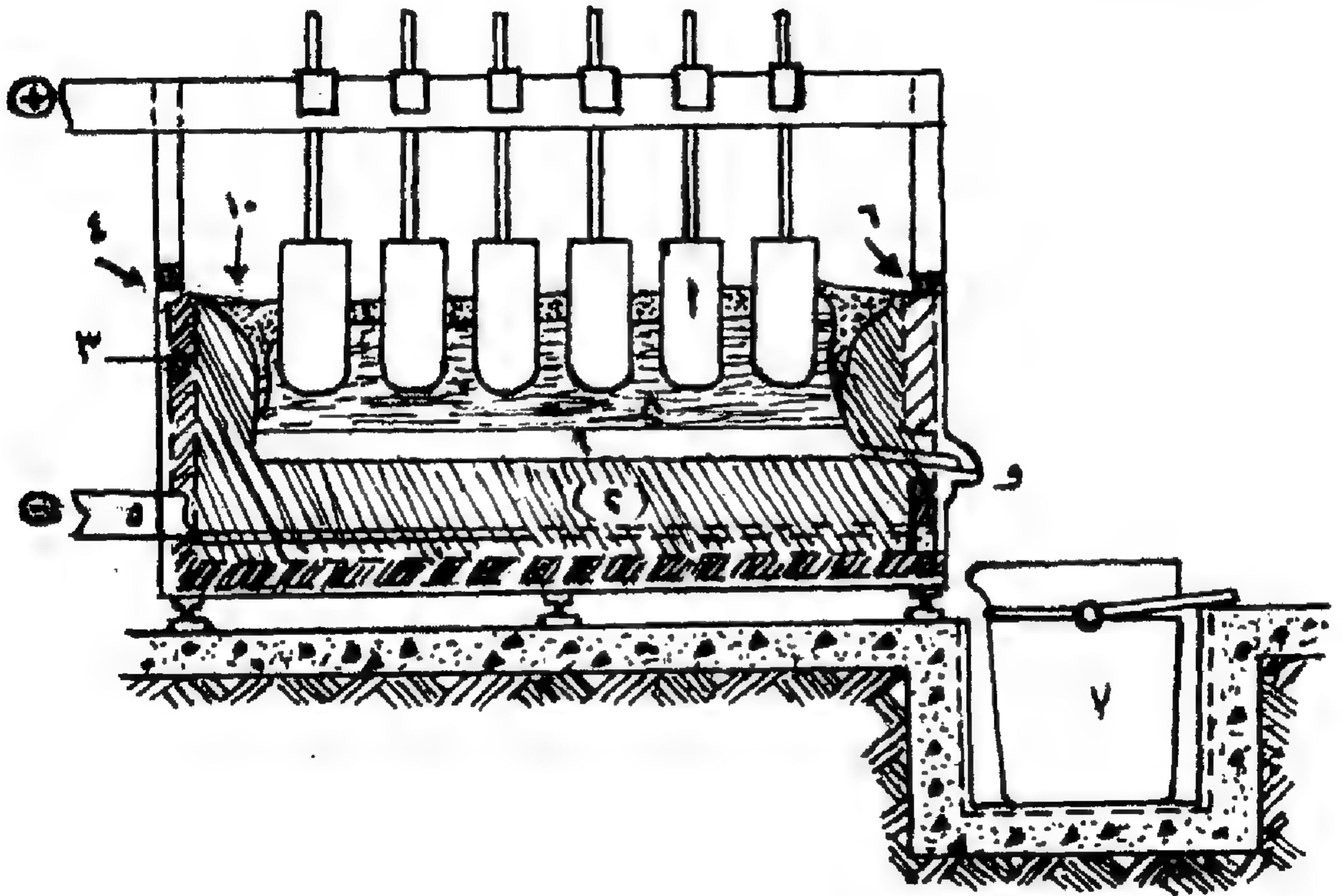
وفي هذه الحالة ، تخلط الطينة الحمراء بالحجر الجيري (كربونات الكالسيوم) والصودا آش (كربونات الصوديوم) ، ثم تليد هما سويا . ويتم ذلك بتسخين العجينة المتكوّنة إلى درجة حرارة تحدث انصهارا جزئيا في العجينة . وتحت هذه الظروف ، يتفاعل المركب المعقد الذي يتألف من سيليكات الصوديوم والألومنيومية مع الحجر الجيري المضاف والصودا آش ، لتكوين سيليكات الكالسيوم وألومينات الصوديوم وثاني أكسيد الكربون (الذي يهرب من حلقة التفاعل فور تكونه) ، وتنفصل الكتلة الملبدة بعد ذلك بالماء ، لإذابة ألومينات الصوديوم ، ثم يستبعد ما تبقى بعد ذلك دون أن يذوب في الماء . وحينئذ يضاف المحلول الناتج إلى المحلول الجاري استخدامه في طريقة « باير » ثانية ، وتستعاد الصودا والألومينا .

والألومينا التي يحصل عليها بهذه الطريقة تكون نقية للغاية ، وتحتوى على أجزاء من المائة من الحديد والسيليكون ، اللذين تخلقا عن الترسيب في الطينة الحمراء ، خلال عيوب أو فتحات في قاش الترشيح . كما تحتوى على نسبة ضئيلة من الصودا . ومن الأفضل اقتصاديا ، تصحيح التركيب الكيميائي للمحلول ، بإضافة بعض فلوريد الألومنيوم ليعادل الصودا المضافة مع الألومينا ، عند غسل الآثار الأخيرة من الصودا في هيدروكسيد الألومنيوم أثناء عملية التنقية .

٥ - إستخلاص الألومنيوم

جرت محاولات عديدة للحصول على فلز الألومنيوم باختزاله من أكسيده (الألومينا) ، باستخدام عوامل اختزال مختلفة ، ولكن هذه المحاولات باءت بالفشل . فثلا يتحد الألومنيوم بالكربون - عند استخدامه كعامل اختزال - مكونا كريد الألومنيوم لوكم . كما أخفقت محاولات الحصول عليه بالتحليل الكهربائي لمحلول أحد أملاحه في الماء ، إذ كانت النتيجة هي تحلل الماء فقط ، والحصول على شقيه الأكسيجين والهيدروجين .

والطريقة الوحيدة التي يمكن استخدامها (على الأقل حتى الآن) للحصول على الألومنيوم ، هي التحليل الكهربائي لمصهور الألومينا ، ويستخدم الكريولايت معها كمحلول الكتروليتي لخفض درجة حرارة الانصهار . ويجرى ذلك في خلايا كهربائية . ويوضح الشكل (٣٩) قطاعا طوليا في خلية كهربائية تستخدم في التحليل الكهربائي للألومينا . كما يوضح الشكل (٤٠) مقطعا مستعرضا في الخلية .



شكل (٣٩) قطاع طولى في خلية كهربائية تستخدم لاستخلاص الألومنيوم ، خلال تحليل كهربائي للألومينا :

- | | | |
|-------------------------|------------------------|-----------------------|
| ١ - أنودات كربونية | ٢ - بطانة كربونية | ٣ - مادة عازلة حراريا |
| ٤ - مادة عازلة كهربائيا | ٥ - لوحة توصيل كهربائي | ٦ - فتحة الصب |
| ٧ - بودقة | ٨ - إلكتروليت منصهر | ٩ - الألومنيوم منصهر |
| | | ١٠ - قشرة متجمدة |

وإذا استخدم وقود غازى مصدرا للقدرة ، فإنه يمكن توليد تيار كهربائى تبلغ فلطيته ٧٠٠ (فلط) عن طريق مولد كهربائى متصل بالمحرك الذى يشغل بالغاز .

وإذا تم توليد الكهرباء بالقدرة البخارية ، فيتم نفس الشئ كما فى المحطة الكهرومائية ، باستثناء واحد ، وهو أن محطة توليد الطاقة ومصنع الألومنيوم ، يجب أن يقعا قريبين من بعضهما بعضا تماما ، لدرجة أنه يتحتم رفع فلطية المولد الكهربائى بواسطة محولات كهربائية لتقليل الفقد فى الطاقة خلال خطوط نقل القدرة .

وتتألف الخلية الإلكتروليتية (كما هو موضح فى المقتطين السابقين) من هيكل يصنع من الصلب ، يقام على أساس ثابت ، ويبطن بكتل وألواح كربونية . وفى العادة يصل عمق الخلية إلى حوالى نصف المتر ، ويوصل قاع الخلية بالتيار الكهربائى المستمر الذى يمر فى قضبان فولاذية ، وتكمل الدائرة الكهربائية بتعليق كتل كربونية تقوم بدور الأنود ، وتوصل بالتيار الكهربائى خلال قضبان معدنية تربطها بعضها ببعض مجموعة من القضبان العمودية .

ولبدء التشغيل ، تخفض الأنودات حتى تستقر تماما على قاع (أرضية) الخلية ، وعندئذ يشحن الكريولاييت فى الخلية ، ثم يوصل التيار الكهربائى .

وتعمل الحرارة التى تتولد عن المقاومة بين الأنود وأرضية الخلية (الكاثود) ، على رفع درجة حرارة الكريولاييت إلى ما فوق درجة حرارة انصهاره (٩٨٢°م) . وبعد انصهار الكريولاييت ، تضاف الألومينا التى تتذوب فى مصهر الكريولاييت ، ثم ترفع الأنودات بحيث تسمح بمرور التيار الكهربائى خلال محلول الإلكتروليت المنصهر . وتكفى الحرارة المتولدة نتيجة مرور التيار الكهربائى للحفاظ على الإلكتروليت منصهرا فيما عدا قشرته السطحية ، فإنها تكون صلبة ، وهى تستغل للاحتفاظ فوقها بكمية كافية من الألومينا ، يجرى تسخينها ذاتيا ، فلا تضيع درجة حرارة الإلكتروليت هباء بطرق الإشعاع والحمل وخلافه .

وعند سطح الأنود الكهربائى ، يتولد غاز الأكسجين ، نتيجة مرور التيار الكهربائى . وإذا كانت درجة الحرارة عالية ، فإن الأكسجين يتحد مع الكربون فى الأنود مكونا غاز ثانى أكسيد الكربون الذى يتصاعد فى الجو (مع بعض من غاز أول أكسيد الكربون) . وعند الكاثود ، يتحرر الألومنيوم الفلزى ، حيث يتجمع فى قاع الخلية الكهربائية لثقل وزنه بالنسبة للإلكتروليت المنصهر .

وبصفة تقريبية ، يستهلك ثلثا كيلوجرام من كربون الإلكترود لكل كيلوجرام من الألومنيوم يتم إنتاجه . ويذوب الرماد الموجود فى المادة الكربونية للإلكترود فى الإلكتروليت ، حيث تختزل مكوناتها العنصرية بواسطة التيار الكهربائى ، ومن ثم ترسب مع الألومنيوم المنصهر وتتحد به كشوائب . ولما كان الفحم البترولى وفحم القار يحتويان على نسبة منخفضة من الرماد ، لذلك تتحد عند استخدامهما كميات قليلة من الشوائب مع الألومنيوم المنصهر .

ونظرا للاستهلاك الضخم في المواد الكربونية التي تتكون منها الأنودات وبطانة الخلية ، يلزم اقتصاديا تخصيص وحدة لإنتاج المواد الكربونية اللازمة . ولقد أشرنا إلى ذلك فيما سبق .

وبتجميع الألومنيوم الفلزى المنصهر عند قاع الخلية ، حيث يجري تجميعه على فترات زمنية منتظمة خلال مشعب (سيفون) في بودقة ، ويتم خلطه جيدا قبل صبه في قوالب من الحديد الزهر ، ليتجمد إلى كتل من الألومنيوم .

ويوجد مصباح (لمبة) كهربائي ، في دائرة تتصل على التوازي بكل خلية ، فكلما كانت هناك ألومينا متداوبة في الكريولاييت ، فإن فرق الجهد عبر الخلية يظل خسة فلطات ، وعمليا لا يسرى أى تيار خلال المصباح فلا يتوهج . ولكن عندما تستنفد كل الألومينا ، ترتفع فلطية الجهد ، ويسرى تيار كهربائي خلال المصباح يكون كافيا لتوهجه ، وتكون هذه الإشارة بمثابة إنذار ضوئى للعامل ، ليقوم بإضافة مقدار جديد من الألومينا ، ويتم ذلك بتكسير جزء من قشرة الكريولاييت التي تملأ المحلول الإلكتروليتى بالخلية وتوجد عليها كمية من الألومينا الساخنة ، فتذوب الألومينا في المصهور الإلكتروليتى سريعا ، ومن ثم تنخفض الفلطية ثانية ، وينطفئ المصباح مرة أخرى .

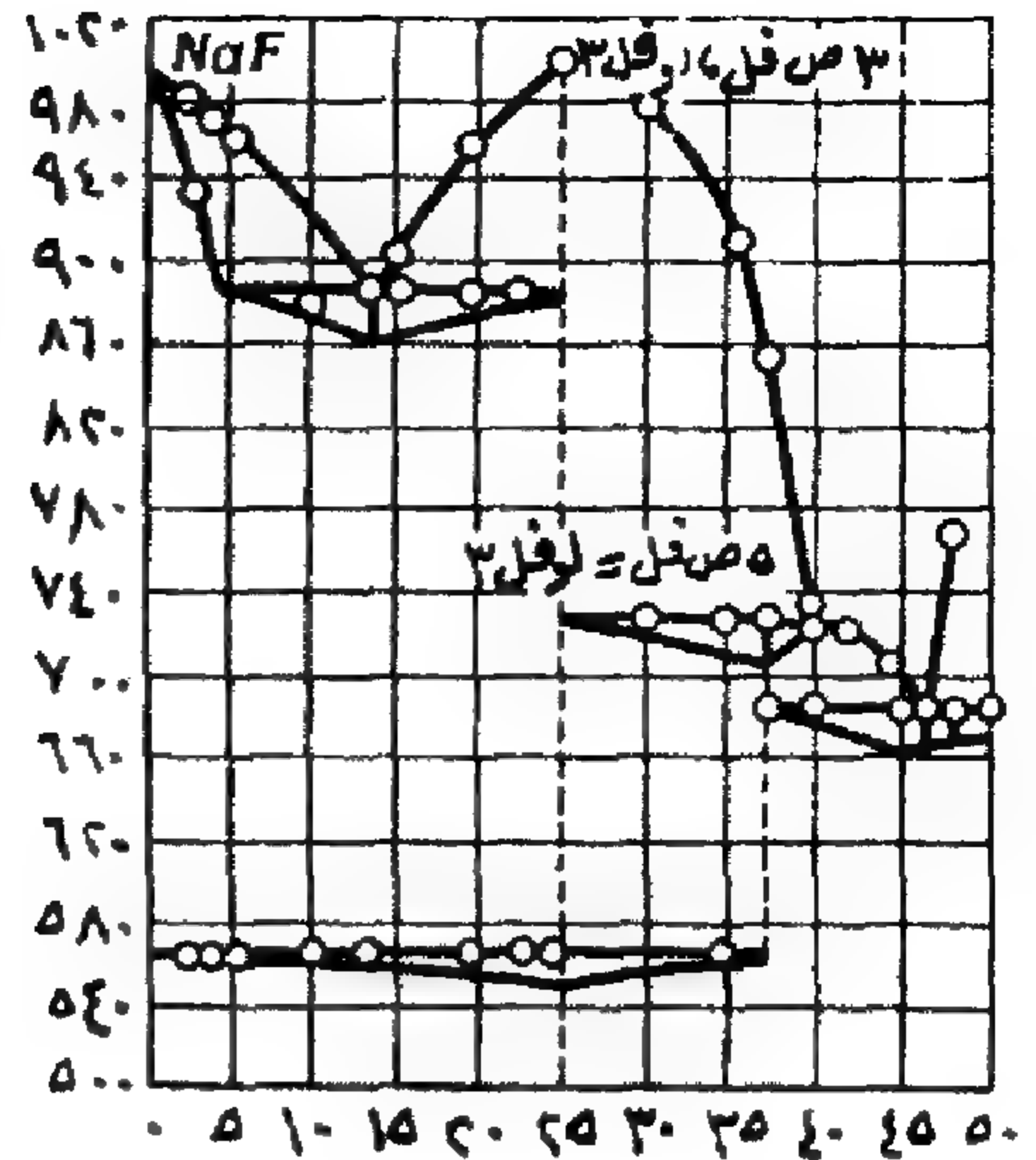
وتستمر العملية تباعا دون توقف ، إلا إذا أصابها عطل مفاجئ* ، أو إذا أصاب بطانة الخلية تآكل ووجب تغييرها ، أو في حالة هبوط القدرة الكهربائية . وفي مثل هذه الحالات يفصل التيار الكهربائي ، وتخفض الأنودات إلى أن تستقر على قاع الخلية حتى يمكن إعادة تشغيلها بسهولة مرة أخرى ، إذا ما تجمد المحلول الإلكتروليتى .

نسبة الكريولاييت :

الكريولاييت الذى يستخدم كاملا صهار (يساعد على الصهر) ، مرتفع الثمن ، وينصهر عند درجة حرارة مرتفعة (٩٨٢°م) ، كما أنه يتطاير بسهولة عندما يكون منصهرا ، ولهذا فقد أجريت محاولات عديدة ترمى إلى الاستعاضة عن الكريولاييت بأية مادة أخرى تقوم بهذا الدور عند تحليل الألومينا بالكهرباء ، إلا أن كل هذه المحاولات لم تنجح حتى الآن .

وبين الشكل (٤١) منحنى الاتزان الحرارى لمكونى الكريولاييت : فلوريد الألومنيوم (لو فل) وفلوريد الصوديوم (ص فل) .

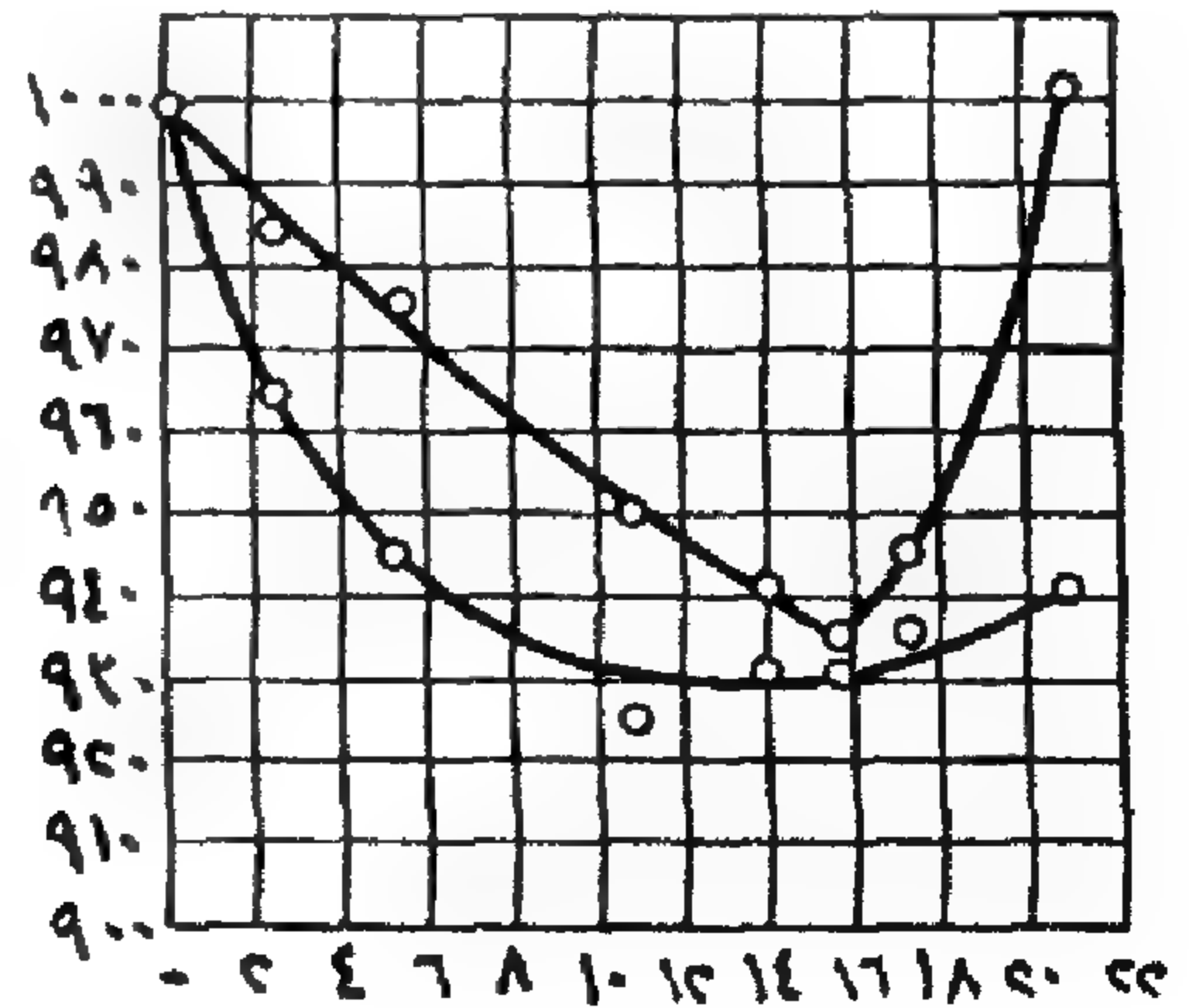
من منحنى الاتزان ، يتضح أن النقطة على خط السيولة التي تمثل التركيب الكيميائى للكريولاييت (لو فل ، ٣ ص فل) لها أعلى درجة انصهار ، عندما تكون النسبة الجزيئية لفلوريد الألومنيوم : فلوريد الصوديوم هي ١ : ٣ (أى ٢٥٪ من الجزيء المركب للكريولاييت ، الذى يحتوى على جزئ من « لو فل » ، وثلاثة جزيئات من « ص فل » .



شكل (٤١)

منحنى الاتزان الحرارى لمكوف الكريولايت :
المحور س : النسبة الجزئية لفلوريد الألومنيوم
المحور ص : درجة الحرارة (مترية)

وتعرف النسبة الجزئية $(\frac{\text{ص فل}}{\text{لو فل ٣}})$ في الإلكتروليت بنسبة الكريولايت ، وبالطبع
فهى تساوى ٣ للكريولايت النقى . واصطلح على أن هذه النسبة هى نسبة التعادل ، وإذا انخفضت
كانت النسبة حمضية ، وإذا زادت كانت قاعدية (قلوية) .
وعادة يجرى استخدام الإلكتروليت الحمضى ، أى بنسبة قفل عن ٣ ، وتقع عمليا بين ٢,٣ ،
٢,٧ ، لأنه إذا انخفضت النسبة عن ٢,٣ ، أى كانت الحمضية عالية جدا ، تطاير الكريولايت
بشدة ، وضعفت قابليته لإذابة الألومينا . وإذا زادت النسبة على ٣ أصبح الإلكتروليت غير
صالح للتحليل كهربائيا ، لأن ذلك يؤدي إلى زيادة تركيز أيونات الصوديوم في المحلول (مصهور
الإلكتروليت) ، مما يزيد من احتمال ترسيب ذرات الصوديوم على الكاثود .



شكل (٤٢)

منحنى الإتزان الحرارى
للمجموعة ، الألومينا ، والكريولايت :
المحور س : النسبة المتوية لوزن الألومينا
المحور ص : درجة الحرارة (المتوية)

ومن ناحية أخرى ، فإن لتذوب الألومينا في الإلكتروليت أهميته . فالمطلوب أن يبلغ تركيز الألومينا أقصاه في الإلكتروليت ، ولكن ذلك يكون على حساب عوامل أخرى ، منها درجة حرارة انصهار الإلكتروليت . وبين الشكل (٤٢) منحنى الاتزان الحراري لمجموعة الألومينا (لو ٢ أم) - الكريوليت (٣ ص فل ، لو فل ٣) . ومنه يتضح أن درجة حرارة الانصهار تنخفض إلى أدنى حد لها عندما تصل نسبة الألومينا في الكريوليت إلى ١٥٪ وزنا ، حيث تبلغ درجة الانصهار ٩٣٥°م. وبعد تجاوز هذه النسبة ، ترتفع درجة حرارة الانصهار بصورة حادة ، ويكون ذلك على حساب العديد من العوامل الاقتصادية ، منها استهلاك الطاقة الكهربائية ، واستهلاك الحراريات المبطنة للخلية ، واستهلاك الأنودات ، وغير ذلك . وعمليا يمكن خفض درجة حرارة الانصهار بإضافة بعض الفلوريدات (أملاح الفلور) مثل فلوريد الكالسيوم كما فل ٢ ولكن ذلك يؤدي إلى زيادة المقاومة الكهربائية للإلكتروليت قليلا ، كما يؤدي إلى إبطاء ذوبان الألومينا في الكريوليت المنصهر . ولكن إضافة فلوريد المغنسيوم ما فل ٢ بدلا من فلوريد الكالسيوم ، يؤدي إلى تحسين عملية التحليل الكهربائي للمحلول المنصهر . كما يقلل من الوزن النوعي للإلكتروليت وهو أمر مستحب ، حتى يفصل الألومنيوم المنصهر بصورة أفضل.

وتصل المقاومة النوعية للإلكتروليت النقي عند درجة حرارة ١٠٠٠°م إلى ٠,٣٧ أوم.سم ولكن المقاومة النوعية للإلكتروليت ، تكون عمليا أعلى من هذا الرقم لاحتواء الإلكتروليت على بعض الشوائب مثل الكربون والكربيدات وغيرها ، حيث تبلغ ٠,٥ - ٠,٥٥ أوم.سم .

ديناميكية التحليل الكهربائي لمصهور الألومينا :

لم يتم التوصل بعد بصورة قاطعة إلى ما يحدث خلال عملية التحليل الكهربائي لمصهور الألومينا ، ولكن عددا كبيرا من العلماء يرجع أن التيار الكهربائي يتدفق عبر مصهور الإلكتروليت لوجود أيونات موجبة من الصوديوم وأيونات سالبة مركبة من فلوريد الألومنيوم ، نتجت عن تفكك الكريوليت كما في المعادلة التالية :



(لو فل --- : أيون مركب من الألومنيوم والفلور ، ويمكن تسميته أيون الألوموفريك)

وتتفكك الألومينا في المحلول المنصهر إلى أيونات الألومنيوم ، وأيونات مركبة من الألومنيوم والأكسجين طبقا للمعادلة التالية :



(لو أم --- : أيون مركب يمكن تسميته أيون الأكسي أومونيك)

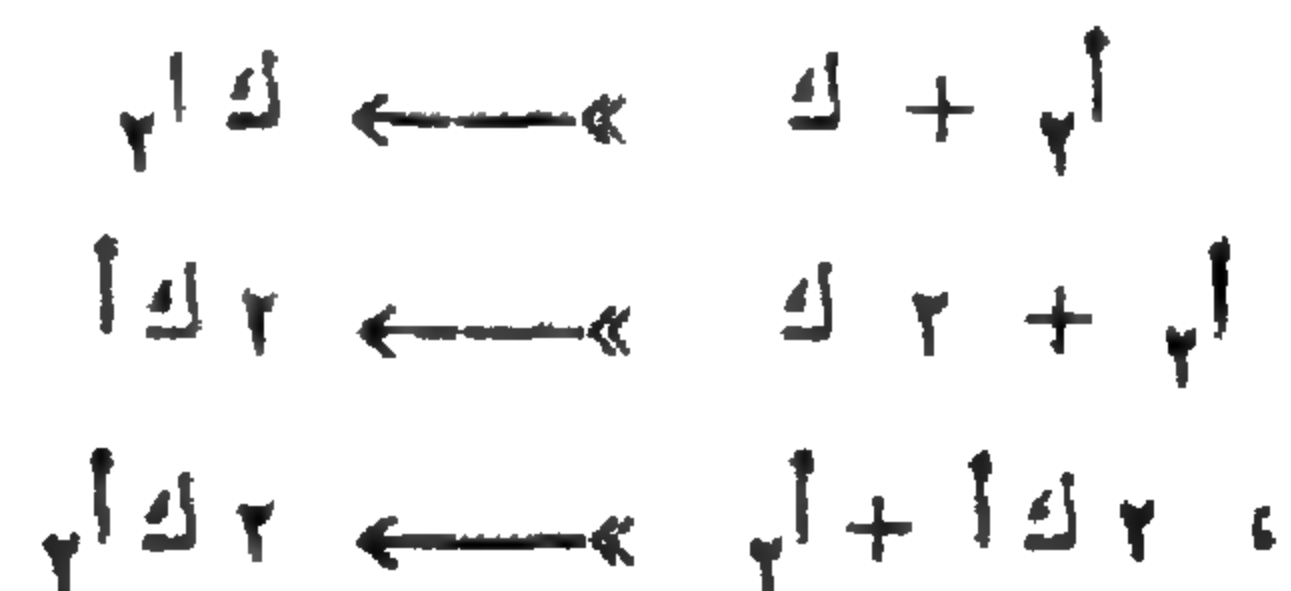
هذا بالإضافة إلى احتمال وجود أيون الأكسجين A^{--} وأيون الفلور أيضا Fl^{--} ، وعليه ، لابد في النهاية ، أن يمتوى المحلول المنصهر على الأيونات التالية :

لو $+++$ ، ص $+$ ، فل $-$ ، أ $-$ ، وتسبح هذه الأيونات في حركة مستمرة في كل أنحاء المحلول عاملة على سريان التيار الكهربائي ، وإن كان لكل منها دوره الخاص .

وعند إجراء التحليل الكهربائي ، يفقد أولا أيون الألومنيوم لو $+++$ شحنته على الكاثود (المهبط) ، كما تفقد أيونات الأكسجين A^{--} شحنتها على الأنود (المصعد) ، وتتحول إلى ذرات نشطة تتفاعل مع كربون الأنود ، متحولة إلى غازي أول وثاني أكسيد الكربون ، ويتسرب هذان الغازان إلى الهواء الجوي ، حيث يشتعل أول أكسيد الكربون متحولا إلى ثاني أكسيد الكربون ، مع اندلاع ألسنة من اللهب تتصاعد فوق القشرة الصلبة للألكتروليت . وعليه ، يستمر تفكك الألومينا إلى شقيها ، مع اختفاء أحدهما (الأكسجين) ، وترسب الآخر (الألومنيوم) عند الكاثود . وتصبح المعادلة العكسية ذات اتجاه واحد (لاختفاء الأكسجين) كما يلي :



ويمكن التعبير عن تفاعلات غاز الأكسجين مع الكربون كما يلي :

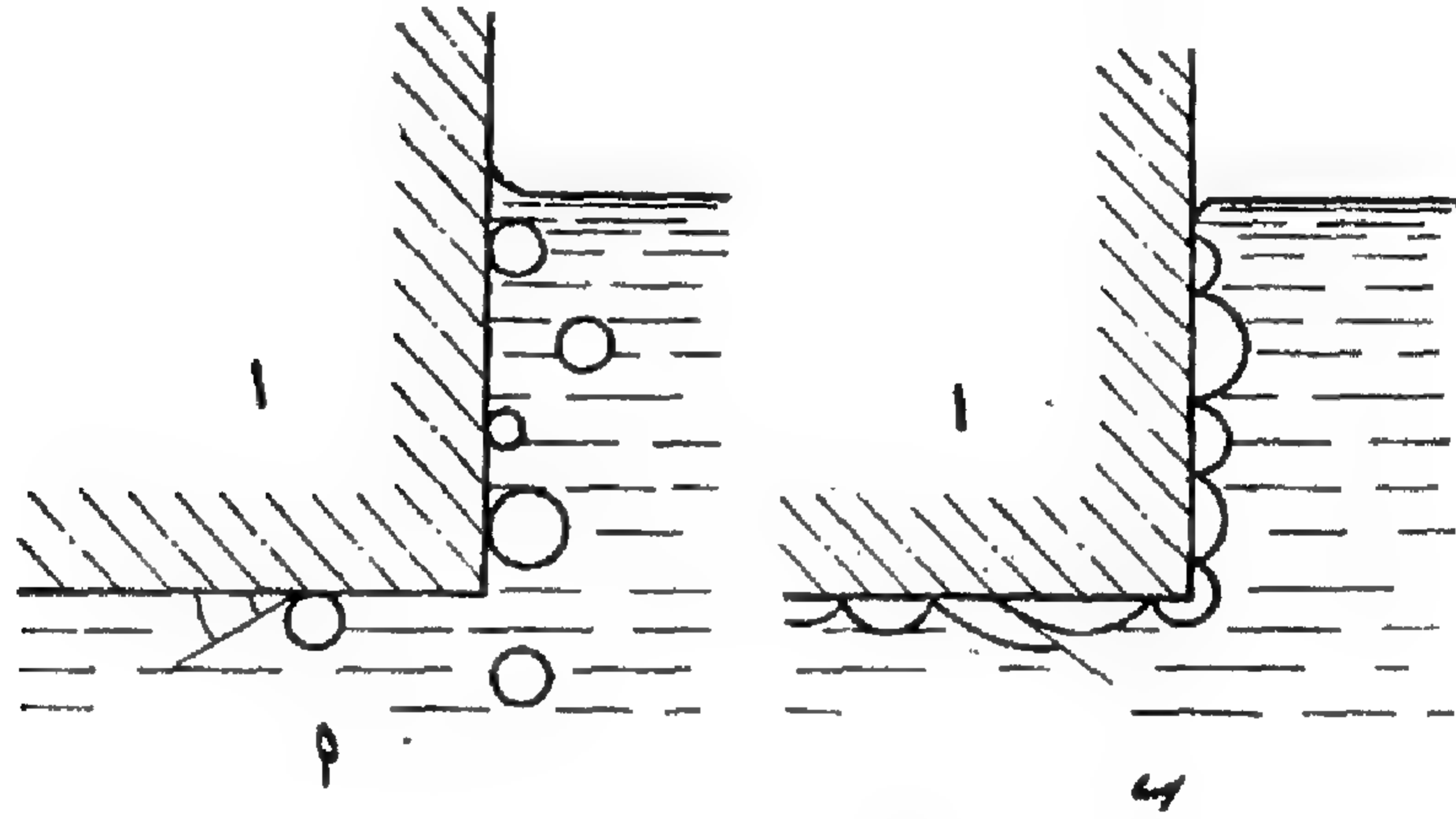


وهكذا تتحلل الألومينا كهربائيا ، ونحصل خلال عملية التحليل على الألومنيوم الفلزى . ولا تتعدى نسبة استهلاك الألومينا عمليا في الكريولاييت عن ٨٪ .
اعتبارات تكنولوجية :

(١) التأثير الأنودي : : كما سبق أن أشرنا ، يوجد مصباح كهربائي لا يمر فيه تيار كهربائي ما دام أن هناك ألومينا كافية متداوبة في الكريولاييت ، ولكن عندما تنخفض نسبتها كثيرا (حتى تصل إلى ١٪) تقفز الفلطية في الخلية من ٥ فلط إلى أكثر من ٣٠ فلط ، ومن ثم يسرى تيار كهربائي في المصباح ويتوهج ، مع اندلاع أقواس كهربائية صغيرة عند سطح الأنود الملامس للمصهور ، ويكون ذلك بمثابة إنذار يوضح أن الخلية في حاجة إلى جرعة أخرى من الألومينا التي توجد ساخنة فوق قشرة الإلكتروليت الصلدة ، وحينئذ يقوم العمال بتحطيم جزء من هذه

القشرة يسمح بسقوط بعض الألومينا التي تذوب سريعا ، فتتخفص الغلظية ثانية ، وينتفخ المصباح نتيجة لذلك .

ويمكن توضيح ما يحدث بالتصور التالي : عندما تكون نسبة الألومينا في الإلكتروليت مناسبة ، فإن المصهور يتمكن من تغطية سطح الأنود المغموس فيه بصورة شاملة ، وبالتالي تزال فقاعات غاز الأكسجين المتولدة سريعا من على الأنود (كما في الشكل ٤٣) . فإذا ما انخفض تركيز الألومينا في الإلكتروليت ، تتمكن فقاعات غاز الأكسجين المتولدة من التراكم على سطح الأنود مكونة غشاء غازيا يزيد من المقاومة الكهربائية بصورة مفاجئة ، ويسمى ذلك « التأثير الأنودي » ، ويمكن التغلب عليه بإضافة كمية مناسبة من الألومينا .



شكل (٤٣) كيفية تكون طبقة من الغاز على سطح الأنود (المصعد)

(أ) التحليل الكهربائي يسير بطريقة منتظمة عادية ، يتكون الإلكتروليت من كريات + ١٠٪ ألومينا

(ب) حدوث التأثير الأنودي ، يتكون الإلكتروليت من كريات + ٥,٥٪ ألومينا

(ب) فقد الألومنيوم بتداوبه في الإلكتروليت : إلى جانب التأثير الأنودي ، هناك عدة عمليات كيميائية ينجم عنها بعض المساوئ التي قد تؤثر على سير عملية الإنتاج بطريقة سلسلة ومنتظمة . من هذه العمليات ذوبان الألومنيوم الفلز في الإلكتروليت المنصهر . فالألومنيوم يتداوب في الإلكتروليت المنصهر حتى نسبة ١,٥٪ ، وعندئذ يصبح الإلكتروليت مشبعاً بالألومنيوم . ولكن ما يحدث في حالة التحليل الكهربائي قد يؤدي إلى فقد كمية كبيرة من الألومنيوم ، إذ تتأكسد الكمية المذابة من الألومنيوم بأكسجين الهواء الجوي متحولة إلى ألومينا ، سرعان ما تذوب في الإلكتروليت ، فيقل تركيز الألومنيوم في الإلكتروليت ، فتذوب كمية أخرى منه ، وهكذا ، مما يمثل عبئا على عملية التحليل الكهربائي ، للألومينا ، وخفضا لكفاءة التشغيل .

(ج) فقد الألومنيوم بتفاعله مع الكربون : يحدث عند درجات الحرارة العالية أن يبدأ الألومنيوم في التفاعل مع الكربون الموجود في الإلكتروليت مكونا كريد الألومنيوم طبقا للمعادلة الآتية :

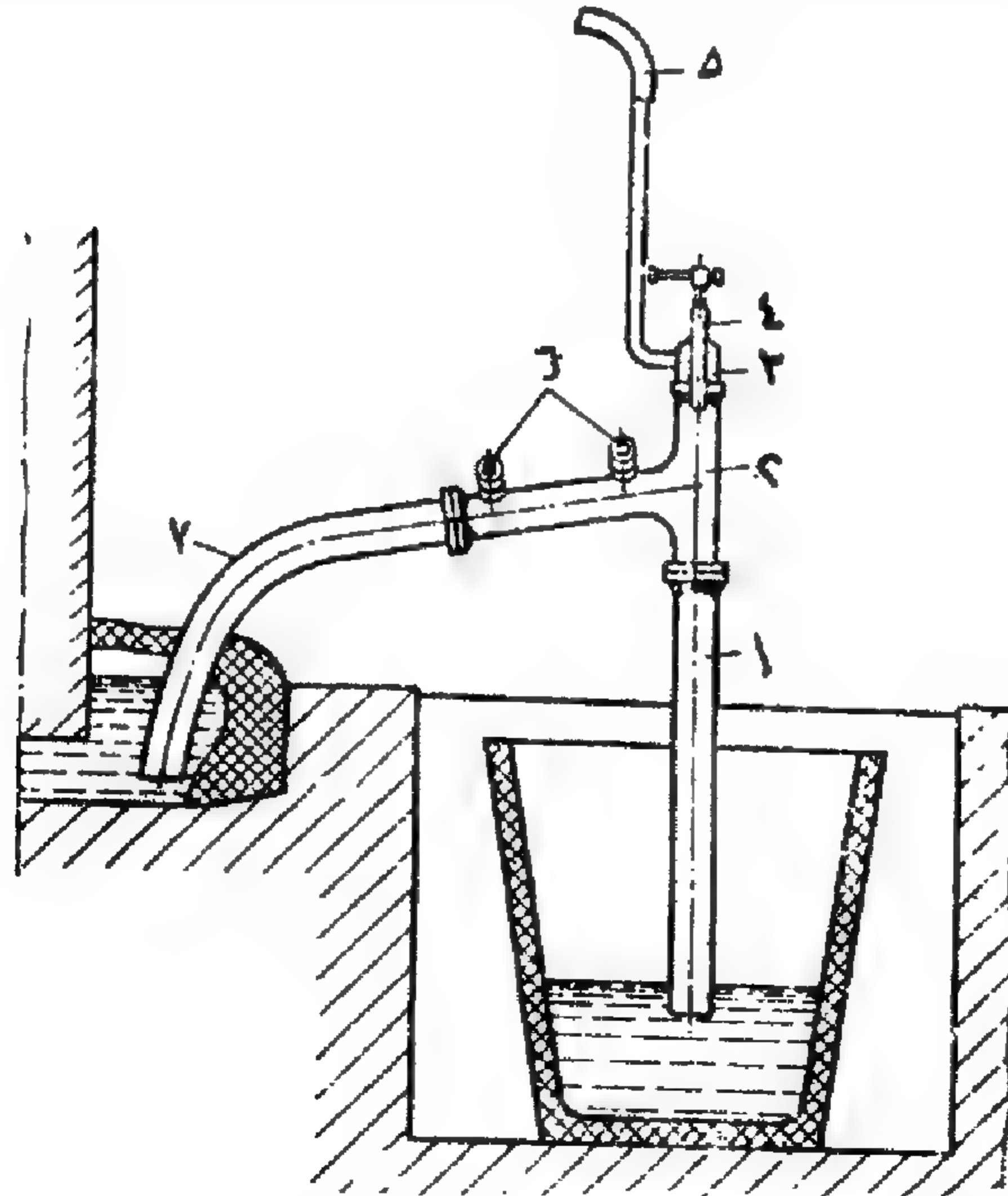


وكريد الألومنيوم وزنه النوعي كبير ، وموصلية الكهربائية منخفضة . ويرسب إلى قاع الخلية أسفل الألومنيوم المنصهر لثقله .

صب الألومنيوم المنصهر من الخلية :

يتراكم الألومنيوم المنصهر ، الناتج عن عملية التحليل الكهربائي للألومينا ، على أرضية الخلية تدريجيا لكثافته التي تفوق كثافة الإلكتروليت المنصهر (كثافة الإلكتروليت أكبر من كثافة الألومنيوم ، وهما في الحالة الصلبة) .

ومن الناحية العملية ، يستهدف في الوحدة الإنتاجية أن تكون عملية صب الألومنيوم من الخلية على فترات زمنية متباعدة ، تلافا للإخلال بسير العمل الروتيني للخلية . وعادة يصب الألومنيوم كل يومين أو ثلاثة أيام . ويتم التفريغ خلال مشاعب (سيفونات) أو بواشق ، تعمل بخلخلة الهواء . ويوضح الشكل (٤٤) رسما للمشعب (السيفون) ، وهو يتكون من أنبوبة ثلاثية الأفرع ، يفر طرفها الأسفل في البودقة المعدة لتجميع الألومنيوم . أما الفتحة العليا لهذه الأنبوبة ، فتستغل لعمل خلخلة في هواء المشعب . ويجب أن يكون مستوى البودقة دون مستوى الألومنيوم في الخلية ، كما يجب أن يسخن المشعب إلى درجة حرارة ٢٥٠°م تقريبا ، حتى لا تتجمد القطرات الأولى من الألومنيوم التي تمر خلاله . ثم يدخل طرف المشعب

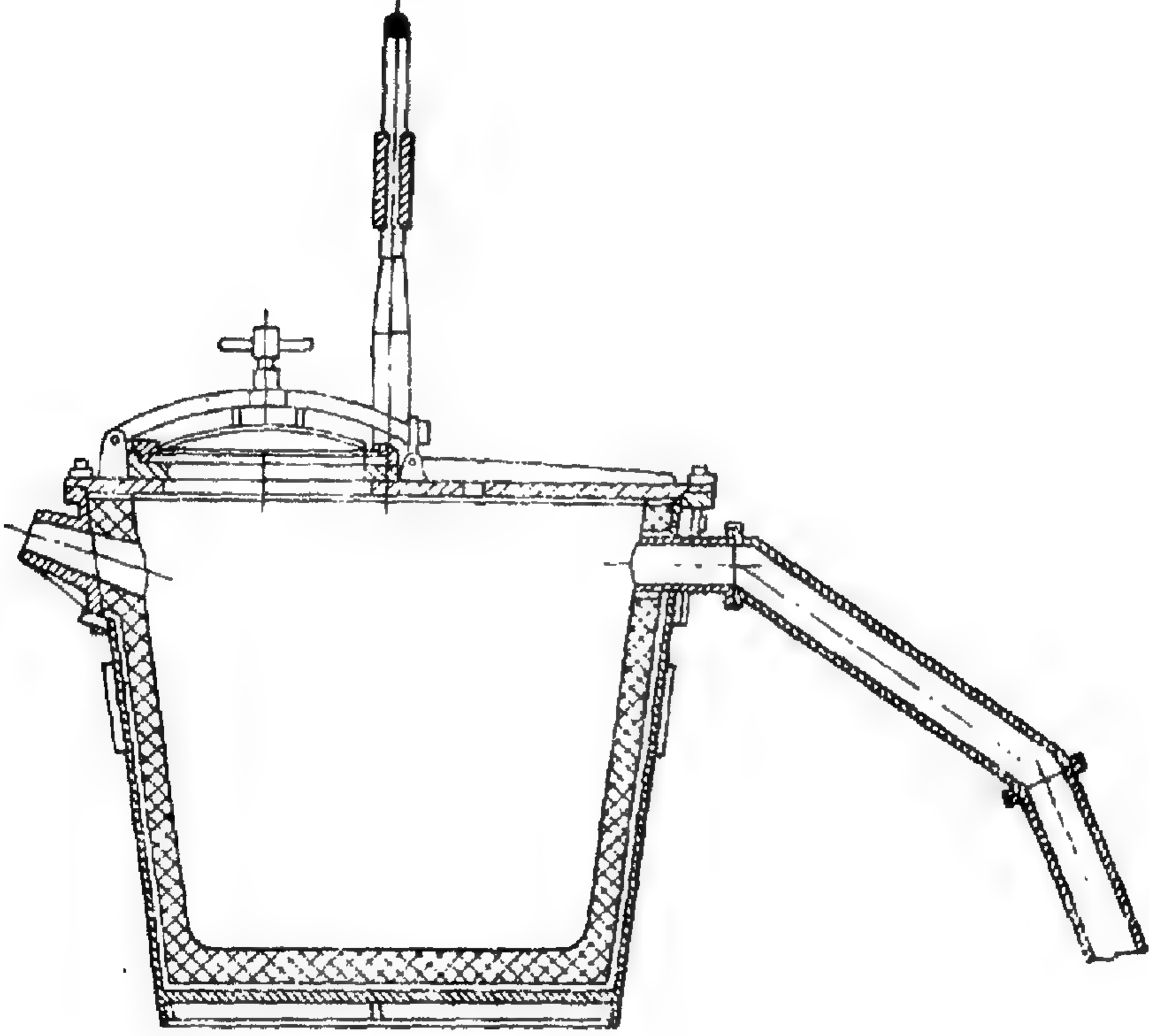


شكل (٤٤) مشعب (سيفون) يستخدم لتفريغ مصهور الألومنيوم من الخلية بواسطة الخلخلة :

- | | | | |
|------------|---------------------------|----------|----------|
| ١ - أنبوبة | ٢ - أنبوبة على شكل T | ٣ - غطاء | ٤ - ماسك |
| ٥ - مخروط | ٦ - حلقتان لتعليق السيفون | ٧ - كوع | |

داخل الخلية بواسطة رافعة ، فإذا أوقف الضغط عن الجزء (١) من الأنبوبة ، وتمت خلخلة الضغط في الجزء الباقي من الأنبوبة الذي ينغمر داخل الخلية ، فإن الألومنيوم المنصهر ينساب تباعا من الخلية إلى البودقة .

ويمكن صب الألومنيوم المنصهر من الخلية بواسطة بواشق التفريغ (الخلخلة) ، وفي هذه الحالة ، يجب أن يكون التفريغ كبيرا . ويبين الشكل (٤٥) رسما توضيحيا لبودقة التفريغ ، حيث تحتوي المعدات المستخدمة على ترتيبات وآليات معقدة .



شكل (٤٥) بودقة تستخدم لصب الألومنيوم المنصهر من الخلية بتفريغ الهواء

٦ - تنقية الألومنيوم

(١) تنقية الألومنيوم باستخدام غاز الكلور :

يحتوي الألومنيوم المنصهر فور استخلاصه من الخلايا الكهربائية ، على عدد من الشوائب الفلزية واللافلزية ، وبعض الغازات الذائبة كالهيدروجين .

ويتلوث الألومنيوم المنصهر بهذه الشوائب نتيجة اختزالها من أكاسيدها المحتواة في خام البوكسيت ، وأيضا في أثناء عملية التحليل الكهربائي في الخلايا . والعناصر الآتية في مقدمة الشوائب التي يحويها الألومنيوم :

السيليكون ، والصوديوم ، والبوتاسيوم ، والتيتانيوم ، والمغنسيوم ، والحديد ، والنحاس .
ونتيجة لذوبان هذه الشوائب في الألومنيوم الناتج ، تتأثر لدرجة كبيرة الخواص الميكانيكية
للألومنيوم وقابليته للتشكيل ، وسبكيته (قابليته للسباكة) ، كما تقل مقاومته للتآكل الكيميائي ،
وتنخفض موصلتيه الكهربائية . ولهذا فن الضرورى تنقية الألومنيوم من هذه الشوائب .
وتجرى عملية التنقية في البوادرى باستخدام غاز الكلور . ويبين الشكل (٤٦) الجهاز المستخدم
في عملية التنقية ، حيث توضع البودقة التى تحوى مصهور الألومنيوم تحت قلنسوة خاصة .
وتمرر الأنبوبة الموصلة بالأسطوانات التى تحوى غاز الكلور ، من خلال فتحة في هذه القلنسوة .
ويجب أن توضع اسطوانات غاز الكلور في مكان خاص لحماية لصحة العاملين في الموقع ،
كما يجب سحب الغازات الناتجة عن عملية المعالجة بالكلور (أغلبها غاز كلوريد الهيدروجين
يد كل) بعيدا عن المنطقة . وتم عملية المعالجة بالكلور عند درجة حرارة ٧٢٠-٧٥٠°م ،
حيث يدفع تيار من غاز الكلور خلال أنبوبة من الجرافيت أو الكوارتز ، لها انتفاخ يعمل على
توزيع الغاز بانتظام ، فيتحد جزء منه ببعض الألومنيوم بسرعة ، مكونا كلوريد الألومنيوم
لوكل م ، الذى يتبخر سريعا لانخفاض درجة حرارة غليانه (درجة حرارة غليان كلوريد
الألومنيوم ١٨٠°م) ويؤدى ذلك إلى تقليب مصهور الألومنيوم تقليبا جيدا وفورانه ، مما
يساعد على فصل الشوائب غير المعدنية وطفوها على سطح المصهور .

شكل (٤٦)

جهاز تنقية الألومنيوم المنصهر
باستخدام غاز الكلور :

- ١ - أنبوبة توصيل غاز الكلور
- ٢ - نفاخة
- ٣ - فتحات هروب غاز الكلور
- ٤ - منصدة بها آلية للتدوير
- ٥ - بودقة
- ٦ - عربة
- ٧ - غرفة التنقية بغاز الكلور
- ٨ - خرطوم مطاط
- ٩ - اسطوانة تستخدم ضمن آلية الرفع

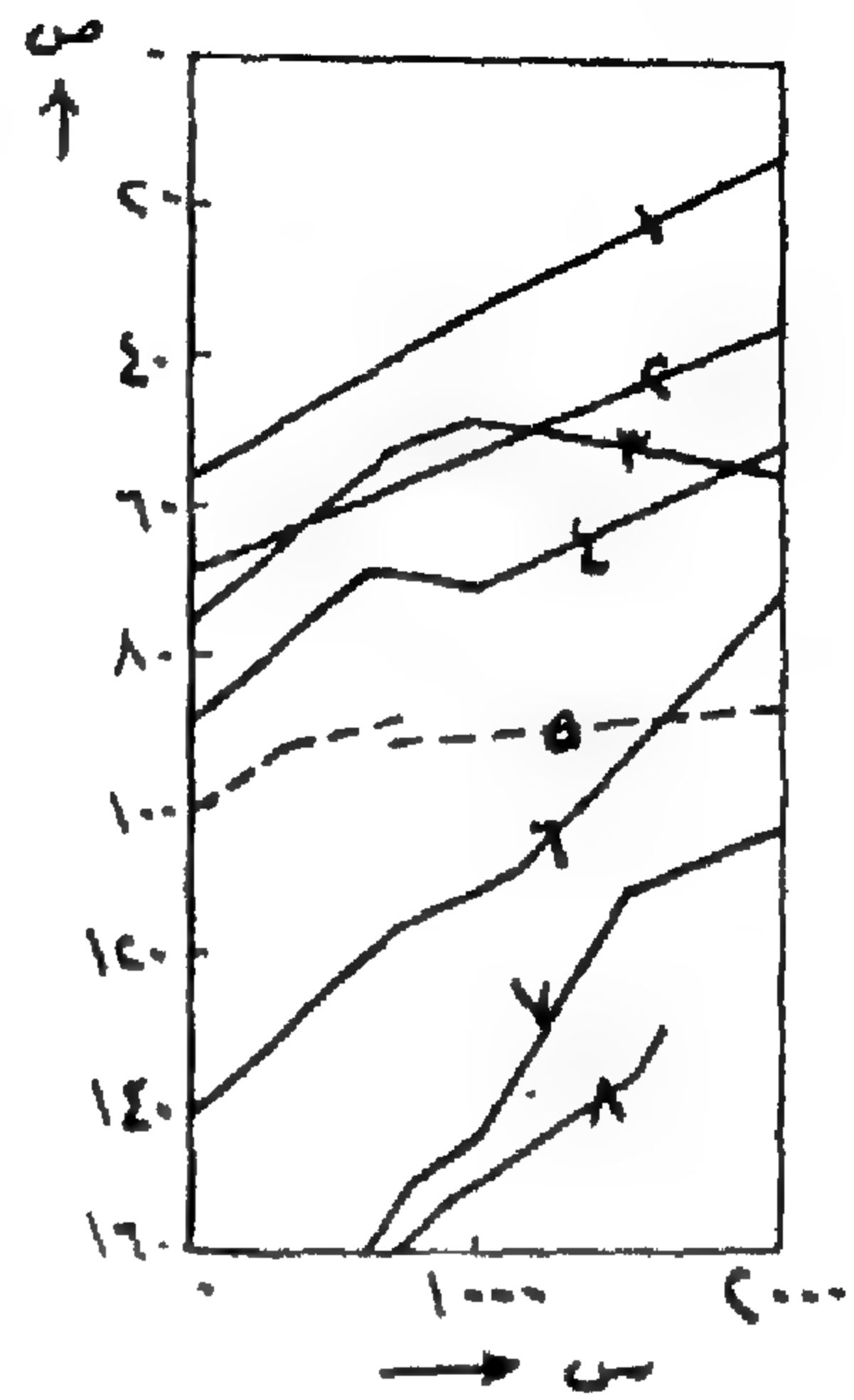
وفي أثناء عملية التقليب الذاتية ، تتمكن بعض الفلزات من الاستيلاء على الكلور والاستئثار به ، فتنتزع من كلوريد الألومنيوم على حسب مقدار الطاقة المطلقة لهذه الكلوريدات عند درجة حرارة التنقية .

ويوضح الشكل (٤٧) مقدار التغير في الطاقة المطلقة عند درجات الحرارة المختلفة .

(شكل ٤٧) تغير الطاقة المطلقة لتفاعلات بعض الكلوريدات عند درجات الحرارة المختلفة :

س : (المحور السيني) : درجة الحرارة °م
ص : (المحور الصادي) : الطاقة المطلقة القياسية
عند تكون الكلوريدات بالكيلو سعر/ جرام جزيئي
من غاز الكلور :

- ١ - ٢ نـح + ٢ كل = ٢ نـح ٢ كل
- ٢ - ١/٢ س + ٢ كل = ١/٢ س ٢ كل
- ٣ - ٢/٣ لو + ٢ كل = ١/٣ لو ٢ كل
- ٤ - ٢/٣ خ + ٢ كل = ٢/٣ خ ٢ كل
- ٥ - ٢/٣ لو + ٢ كل = ٢/٣ لو ٢ كل
- ٦ - ٢ ما + ٢ كل = ٢ ما ٢ كل
- ٧ - ٢ ص + ٢ كل = ٢ ص ٢ كل
- ٨ - ٢ كا + ٢ كل = ٢ كا ٢ كل



وتطفو كلوريدات الشوائب على سطح المصهور لحقة أوزانها .

وبعد الانتهاء من عملية التنقية ، ينقل الألومنيوم النقي إلى أفران مقاومة كهربائية ، يبين

الشكل (٤٨) أحدها .

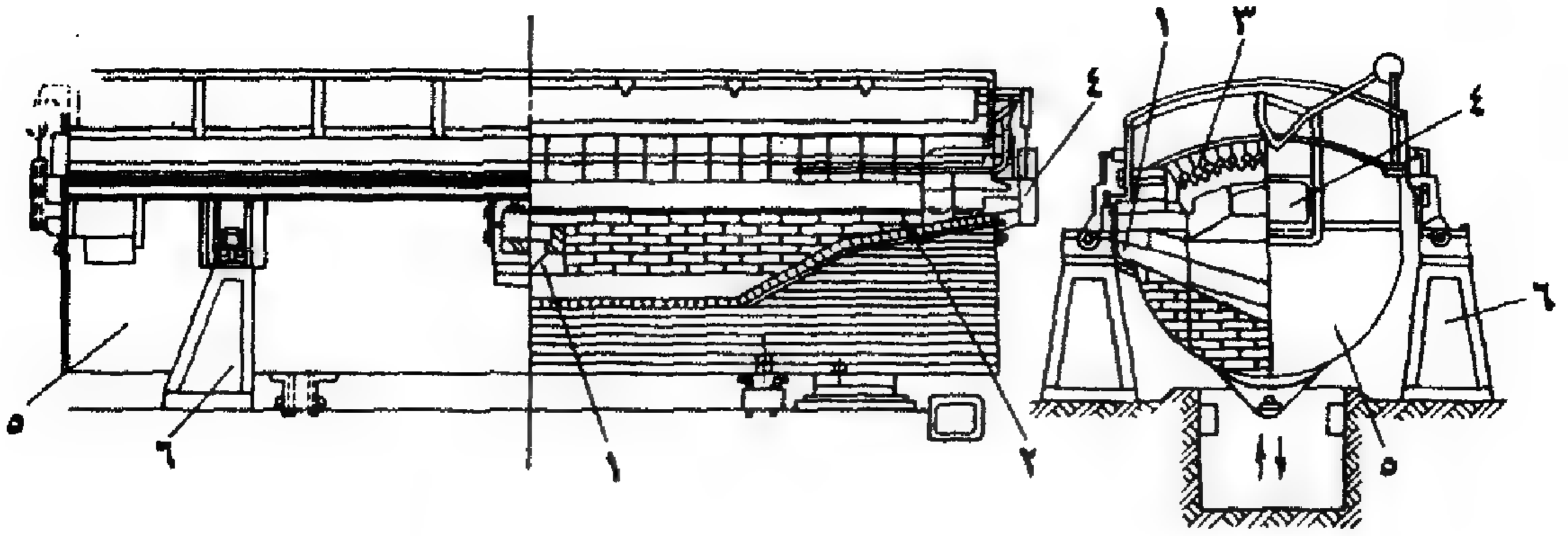
ويتكون جسم فرن المقاومة الكهربائي من هيكل معدني ، جزؤه الأسفل على هيئة نصف أسطوانة ، يستند على مرتكزات منشورية الشكل ، أما جوف الفرن فيتألف من حجرتين أماميتين ومن حوض متجمع . ويكون الفرن مبطناً بالطوب الحراري . وتثبت ملفات المقاومة المصنوعة من الصلب النيكل الكرومي في سقف الفرن .

ويمكن إمالة الفرن لإخراج الألومنيوم من فتحة الصب . ويستخدم مثل هذا الفرن لإعادة

صهر الألومنيوم للأغراض التالية :

• تنقية الألومنيوم لدرجة أكبر ، بتركه ساكناً لفترة مناسبة عند درجة الحرارة اللازمة .

• تجانس الألومنيوم بخلط الصببات المتعددة والواردة من خلايا مختلفة .



شكل (٤٨) فرق مقاومة كهربائي

- | | |
|--------------------------------------|------------------------|
| ١ - فتحة الصب | ٢ - الغرفة الأمامية |
| ٣ - مسخنات تعمل بالمقاومة الكهربائية | ٤ - فتحة الشحن |
| ٥ - غلاف معدني | ٦ - أعمدة ارتكاز الفرن |

(ب) تنقية الألومنيوم بواسطة التحليل الكهربائي :

تستخدم هذه الطريقة للحصول على ألومنيوم بالغ النقاء ، حيث يجري استخدامه في أغراض البحث العلمي ، وما شابه ذلك . وتصل نسبة النقاء إلى ٩٩,٩٩٩ ٪ . ويحد من انتشار هذه الطريقة على نطاق صناعي واسع ، تكاليفها الباهظة .

وتجرى حالياً عملية التنقية بالتحليل الكهربائي في وسط منصهر ، يكون الأنود فيها سبيكة للألومنيوم غير النقي مع فلز ثقيل ، ويكون الكاثود فلز الألومنيوم النقي ، وتتمل المسافة بين الأنود والكاثود بطبقة من الإلكتروليت تتكون من أملاح الفلوريدات والكلوريدات اللامائية (لا تحتوي على ماء تبلور) . ويجب أن يكون الوزن النوعي للإلكتروليت عند درجة حرارة العملية أكبر من الوزن النوعي للألومنيوم النقي ، وأقل من الوزن النوعي لسبيكة الأنود .

وعادة يستخدم إلكتروليت ، وهو يتألف من مخلوط كلوريد الباريوم باكل ٢ (بنسبة ٦٠ ٪) وفلوريد الألومنيوم لو فل (بنسبة ٢٣ ٪) ، وفلوريد الصوديوم ١٧ ٪ (بنسبة ١٧ ٪) ، والوزن النوعي لهذا الإلكتروليت ٢,٧ . ويعتبر النحاس من أفضل الفلوات التي تستخدم لزيادة الوزن النوعي لسبيكة الأنود .

وتعرف هذه الطريقة لتنقية الألومنيوم بطريقة الطبقات الثلاث ، ويمكن التعبير عن خطوات التنقية بالمعادلات التوضيحية التالية :

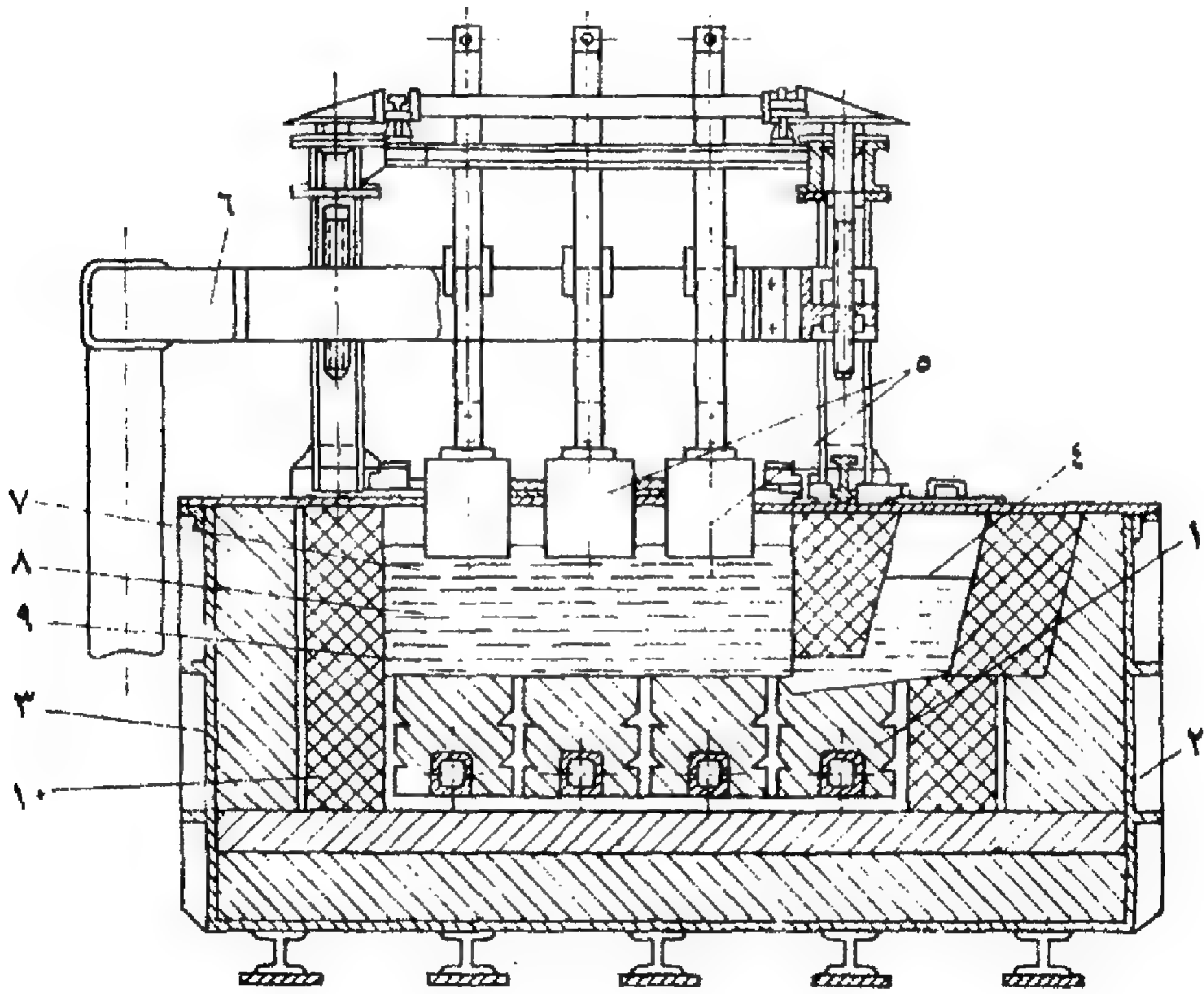
عند الأنود : لو (منصر) - ٣ إلكترونات ← لو +++

عند الكاثود : لو +++ + ٣ إلكترونات ← لو (منصر)

ولا تستطيع الشوائب الأكثر إيجابية كهربائيا من الألومنيوم، أن تنتقل من الأنود إلى الإلكتروليت مادامت سبيكة الأنود تحتوي على نسبة كافية من الألومنيوم . أما الشوائب الأكثر سلبية كهربائيا عن الألومنيوم ، فتنقل من الأنود إلى الإلكتروليت . ولكن هذه الشوائب لا تستطيع أن تنفصل على الأنود ما دام تركيز أيونات الألومنيوم في الإلكتروليت - أو حتى عند الكاثود - كبيرا ، لأن جهد انفصال هذه الشوائب أعلى من جهد انفصال الألومنيوم .
ويبين الشكل (٤٩) خلية تستخدم لتنقية الألومنيوم بطريقة الطبقات الثلاث .

(ج) التنقية بطريقة المغنسيوم :

تستخدم هذه الطريقة لتنقية بعض سبائك الألومنيوم ، فتصهر السبيكة مع ٢٥-٣٠٪ من المغنسيوم ، وتصل درجة حرارة انصهار هذه السبيكة إلى ٥٥٠°م . وفي هذه الحالة ، تنخفض



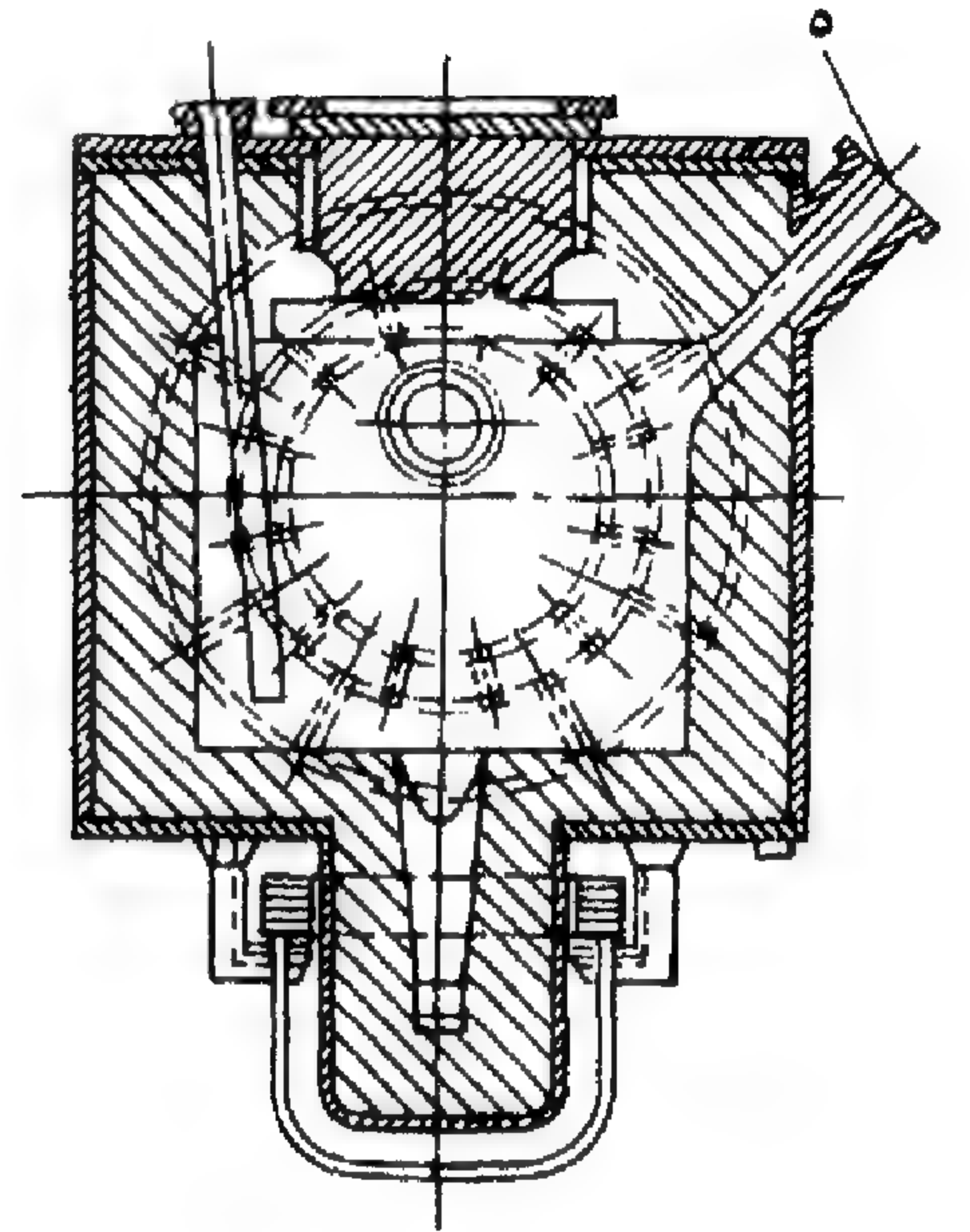
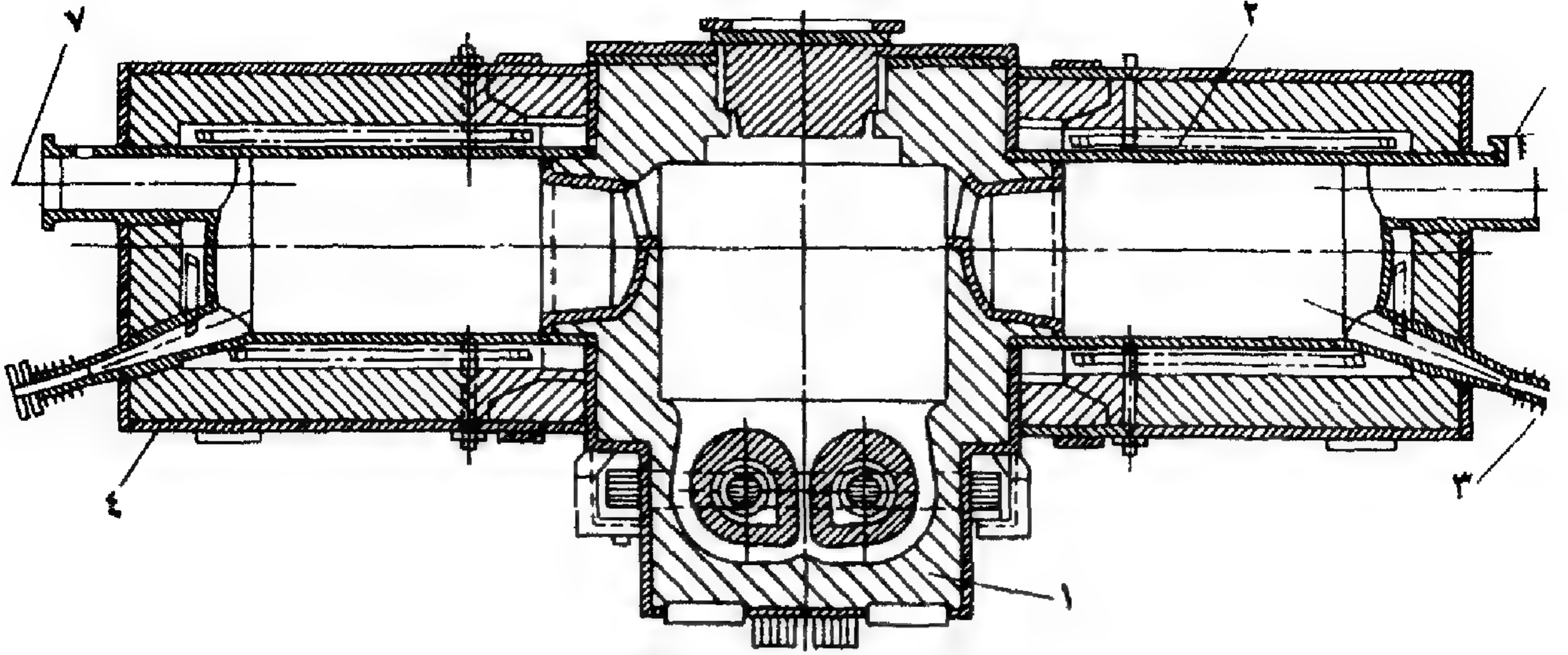
شكل (٤٩) خلية تنقية الألومنيوم بواسطة التحليل الكهربائي تبعا لطريقة الطبقات الثلاث :

- | | | |
|-----------------------------|-----------------|-------------------------------------|
| ١ - كتل الكاثود | ٢ - غلاف | ٣ - بطانة جانبية |
| ٤ - فتحة الشحن | ٥ - الكاثود | ٦ - عمود توصيل الكهرباء إلى الكاثود |
| ٧ - الألومنيوم أثناء تنقيته | ٨ - الإلكتروليت | ٩ - سبيكة الأنود |
| | | ١٠ - بطانة من المحزيت |

ذائبة الحديد في السبيكة انخفاضا حادا ، حيث يتفصل الحديد على هيئة بلورات من لوح γ ترسب على أرضية الخلقة . كما يتحد جزء من السيليكون والمغنسيوم مكونا سلييدات المغنسيوم الخفيفة الوزن ، فتطفو على السطح . ويتحد جزء من الحديد في أثناء ذلك مع المنجنيز . لفصل سبيكة الألومنيوم والمغنسيوم عن المركبات الكيميائية للحديد والسيليكون والمنجنيز ، يجري ترشيح المصهور خلال طبقة من حبيبات البازلت تحت التفريغ (الخلخلة) عند درجة حرارة $510-520^{\circ}\text{C}$ ولا تزيد نسبة الحديد في المصهور بعد ترشيحه عادة على بضعة أجزاء في الألف .

ويتبخر المغنسيوم من سبيكة الألومنيوم والمغنسيوم بعد الترشيح في أفران مفرغة من الهواء تعمل بالحث الكهربائي (كما في الشكل ٥٠) ، ثم يكشف في مكثفات خاصة ، ويتبخر الزنك خلال هذه العملية إذا كان موجودا ضمن عناصر سبيكة الألومنيوم .

ويتم تبخير المغنسيوم والزنك عند درجة حرارة $900 - 950^{\circ}\text{C}$ عندما يصل الضغط إلى 0.1 مم زئبق ، ويراعى الاحتفاظ بدرجة حرارة ثابتة في المكثفات عند 200°C تقريبا ، عندئذ يتبخر كل من المغنسيوم والزنك من سبيكة الألومنيوم ، حيث يترسبان على جدران المكثفات على هيئة بلورات .



شكل (٥٠)

فرق الحث الكهربائي ، يستخدم لتصعيد المغنيسيوم من سبيكة
الألومنيوم والمغنيسيوم خلال جو مفرغ (ضغط منخفض لدرجة
كبيرة) ، ويؤدي ذلك إلى تنقية الألومنيوم :

- ١ - هيكل الفرن
- ٢ - مسخنات
- ٣ - فتحة صب سبيكة الألومنيوم والمغنيسيوم
- ٤ - معوجة
- ٥ - فتحة صب الألومنيوم النقي
- ٦ - فتحة دخول الهيدروجين
- ٧ - خط تفريغ الهواء

الباب الثالث

الميتالورجيا الفيزيكية للفلزات وتطبيقاتها

مقدمة في الميتالورجيا الفيزيكية :

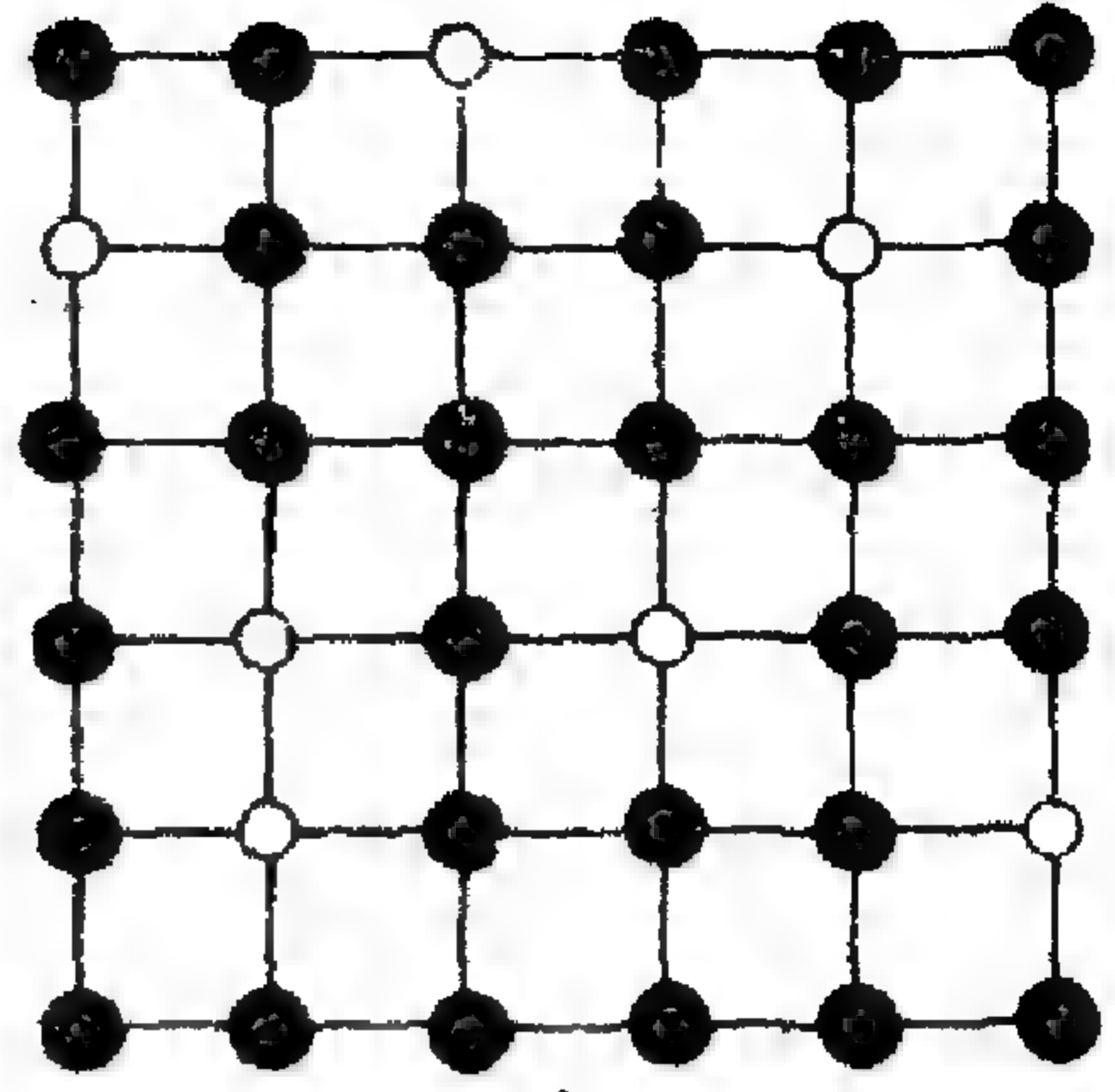
تتسم معظم الفلزات ، عند اتحادهما ، بخاصية التذاوب المتبادل المحدود في الحالة المنصهرة . وهناك مجموعة من الفلزات تتذاوب منصهرة في بعضها بعضا مثنى مثنى بغير حدود .

ونادرا ما نجد فلزين لا يتذاوبان إطلاقا في الحالة المنصهرة ، حيث يتفصل مصهوراهما إلى طبقتين ، تملو إحداهما الأخرى تبعا لكثافتها في حالة الانصهار ، مثل الحديد والرصاص . ولكن الحالة الأكثر شيوعا عند اتحاد فلزين منصهرين معا ، هي التذاوب المحدود . وفي هذه الحالة ، نحصل على محلول منصهر متجانس تماما . إذا ما كانت كمية الفلز ب المضافة إلى الفلز أ لا تزيد عن ذائبيتها العظمى ، عند درجة حرارة الانصهار . ولكن من ناحية أخرى ، إذا تعدت كمية الفلز ب المضافة ذائبيتها العظمى في أ ، انفصل المصهور إلى طبقتين ، تتألفان من محلولين مشبعين : من ب في أ ، والآخر من أ في ب .

وباستثناء بعض الحالات النادرة لبعض الفلزات (مثل الحديد والنحاس ، النيكل والفضة النحاس والكروم) فإن التذاوب المحدود في الحالة المنصهرة يتميز باختلاف حاد في درجة حرارة الانصهار لكل منها ، وأحجام ذراتهما .

وعندما يتسابق فلز ب فلز آخر أوبعصر لا فلزي - يحدث تفاعل كيميائي بين ذرات العنصرين ، وتؤلف إلكترونات التكافؤ للعنصر السبيكي - التي تتميز بضعف ارتباطها إلى نواها حيث لا تنتمي إلى ذرات منفصلة ، ولكنها تشترك في مجموعة الذرات ككل كما في الحالة الصلبة - مجموعة كيميائية واحدة لكل المحلول المنصهر . ويعتمد توزيع ذرات (أيونات) العناصر التي تتألف السبيكة منها في محلول منصهر ، على علاقة قوى التفاعل المتبادلة بين الذرات المتشابهة وغير المتشابهة . وعند تذاوب عنصر سبيكة أحدهما في الآخر في الحالة الصلبة ، تتكون إما محاليل جامدة ، وإما مركبات كيميائية ، أو ينتج عنها - بعد تجمدها - محاليل ميكانيكية (غير متحدة كيميائيا) من كلا العنصرين أ ، ب ، أو عدة محاليل جامدة . وعند تكون محاليل جامدة ، تحل ذرات العنصر المذاب محل بعض ذرات العنصر المذيب في شبكته البلورية ، كما في الشكل (٥١) ، أو قد تكن ذرات العنصر المذاب في المسافات البينية الفاصلة بين الذرات ، كما في الشكل (٥٢) .

في معظم الحالات إذن ، تتسم عناصر السبيكة بتذاوب متبادل محدود في الحالة الصلبة . ومع ذلك ، فإن كثيرا من الفلزات لها ذائبية متبادلة غير محدودة .

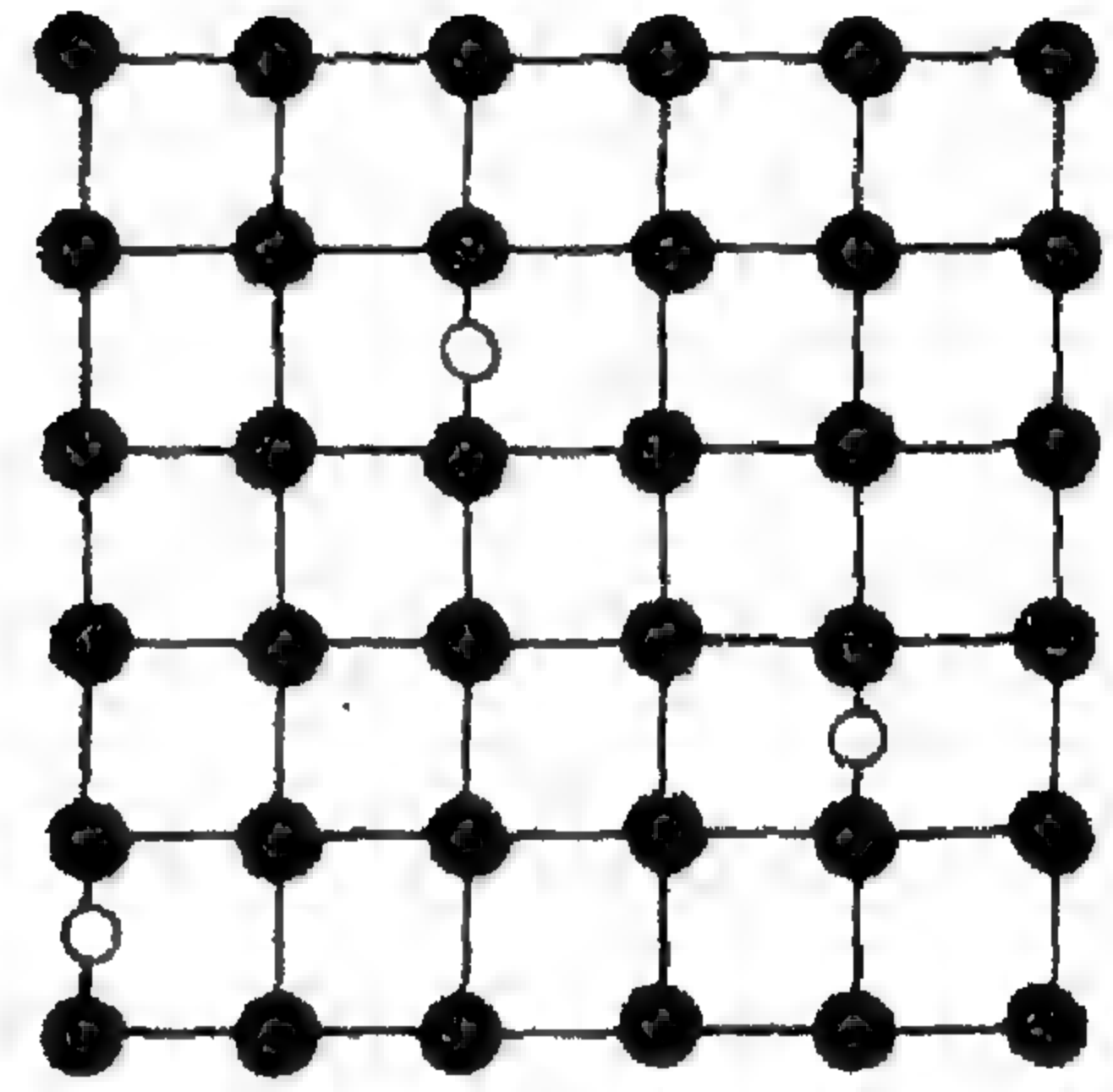


شكل (٥١)

ذرات العنصر المذاب تحل محل بعض نورات
العنصر المذيب في شبكته البلورية :

● ذرة العنصر المذيب

○ ذرة العنصر المذاب



شكل (٥٢)

ذرات العنصر المذاب تكن في المسافات البينية
القاصلة بين ذرات العنصر المذيب :

● ذرة العنصر المذيب

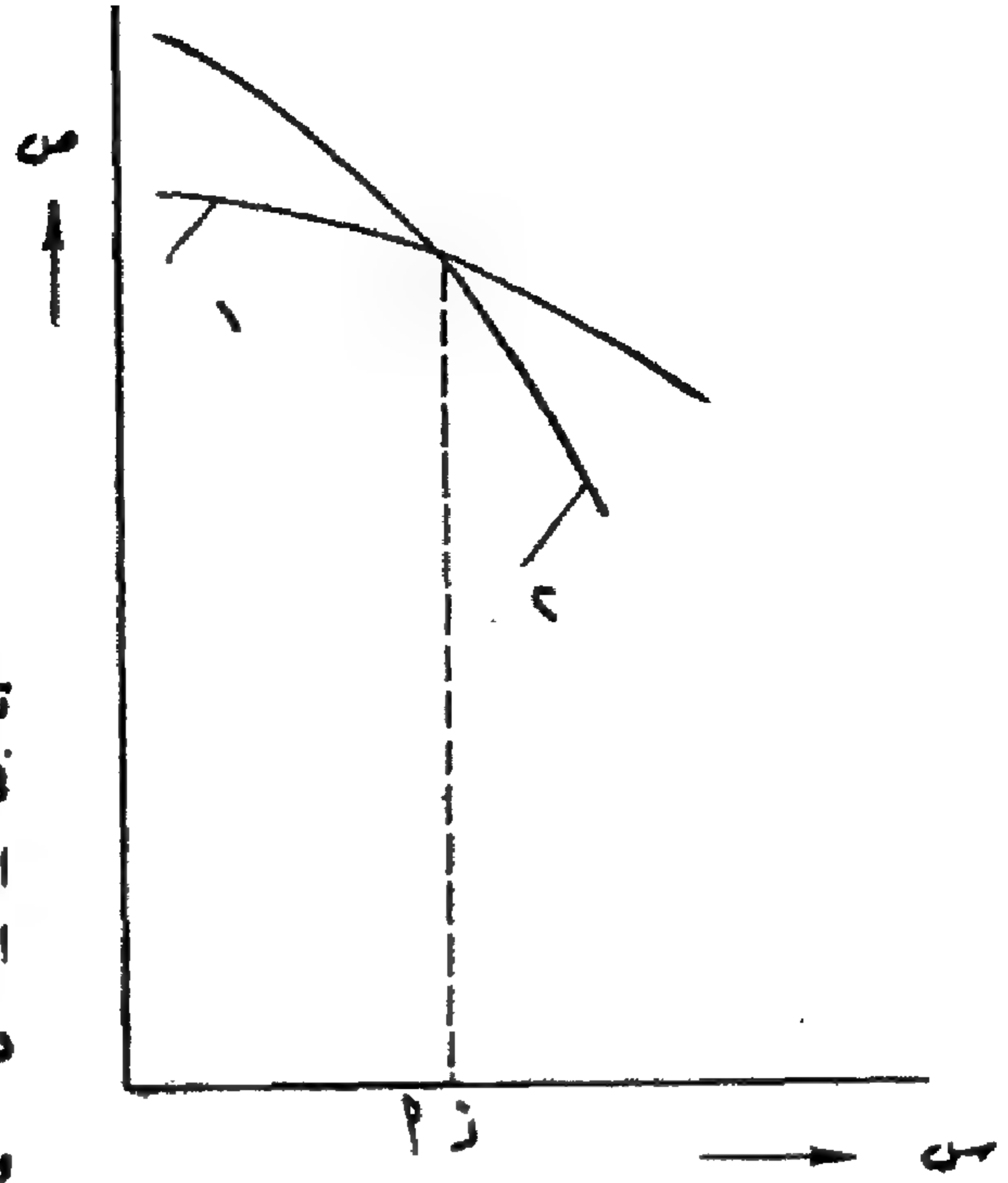
○ ذرة العنصر المذاب

وإذا كان أحد عناصر الشبكة موجودا بكمية تفوق حد تداوبه فيها ، فإن الكمية الزائدة
من هذا العنصر تكون صنفا (طورا) مستقلا ، قد يكون محلولا جامدا مشبعا ، أو مركبا
كيميائيا ، أو بلورات مستقلة لهذا العنصر .

وفي بعض الأحيان ، يختلف المركب الكيميائي عن المحلول الجامد في أن المركب الكيميائي
تكون له شبكته البلورية الخاصة به ، والتي تميزه عن غيره من المركبات ، وهو في معظم الأحيان
يتطلب من الناحية الكمية علاقة محددة لمكوناته كي يتكون .

وتكون عملية التحول الانتقالية لسبيكة من حالة الانصهار إلى الحالة الصلبة ، مصحوبة بتحول
المجموعة الكيميائية إلى حالة تقل فيها الطاقة المطلقة لها ، كما في الشكل (٥٣) .

وكما هي الحال في تجمد الفلزات النقية ، يبدأ هذا التحول فقط إذا تعرضت السبيكة لتبريد



شكل (٥٣)

تغير مقدار الطاقة المطلقة مع درجة الحرارة
في حالى الصلابة والسيولة :

المحور س : يمثل درجة الحرارة
المحور ص : مقدار الطاقة المطلقة

١ : درجة حرارة الإتزان بين حالى الصلابة
والسيولة

مفرط (دون نقطة تجمدها) ، كما فى الشكل (٥٤) . وعندئذ تبدأ بلوراتها فى التكون ،

شكل (٥٤) تجمد الفلز

النقأثناء تعرضه لتبريد مفرط

المحور س : الزمن

المحور ص : درجة الحرارة

المتوية

١- معدل تبريد بطيء

جدا ، يتعرض المصهور

لدرجة « تبريد مفرط »

طفيفة ، ومن ثم فهو يتجمد

عند درجة حرارة تقارب

درجة حرارة الإتزان د

(أنظر شكل ٥٣) . الجزء

الأفقى من المنحنى يدل على

ثبوت درجة الحرارة نتيجة

انطلاق الحرارة الكامنة

وتعويضها الحرارة المفقودة

بالتبريد

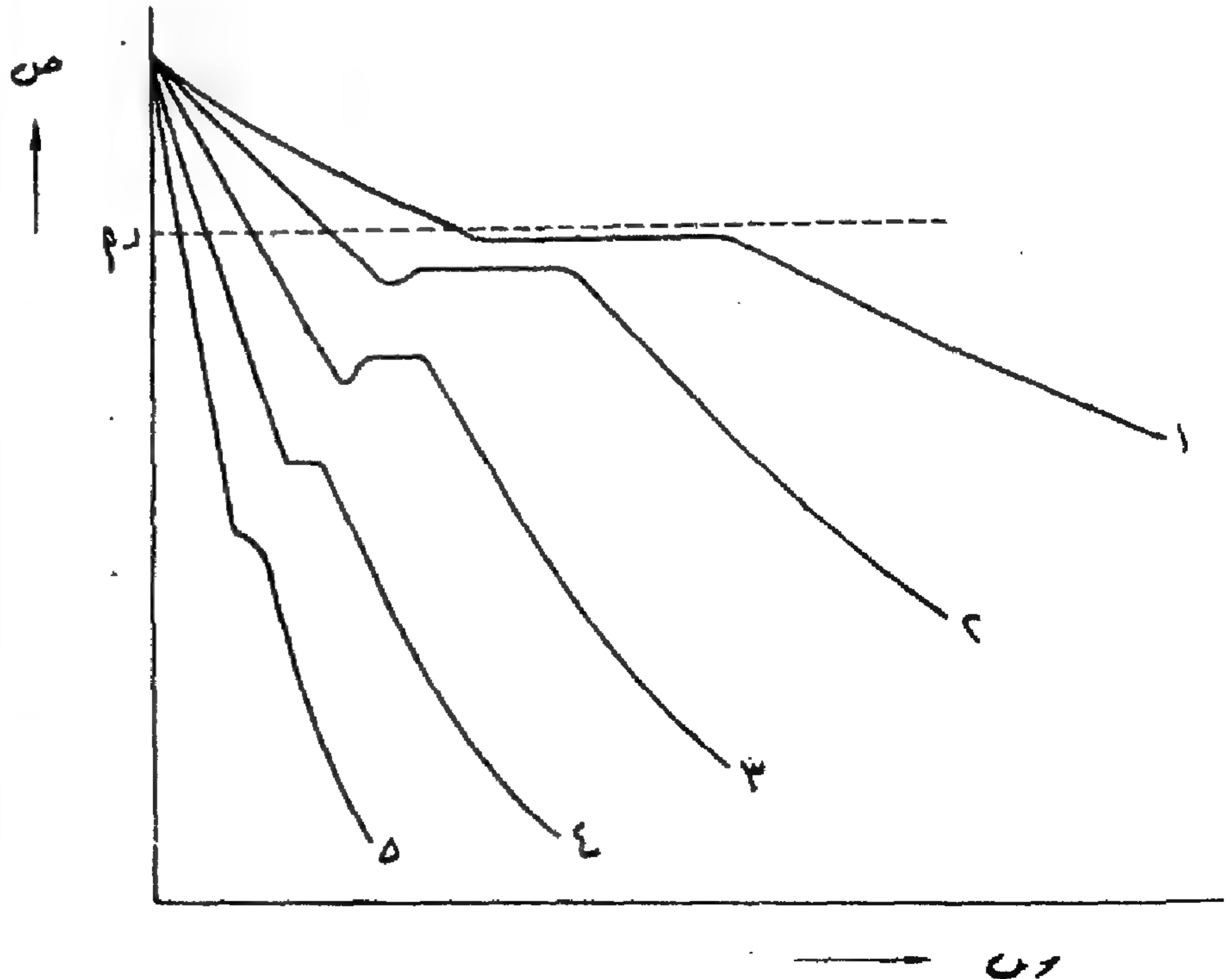
٢ ، ٣ ، ٤ ، ٥ :

معدلات تبريد متزايدة ،

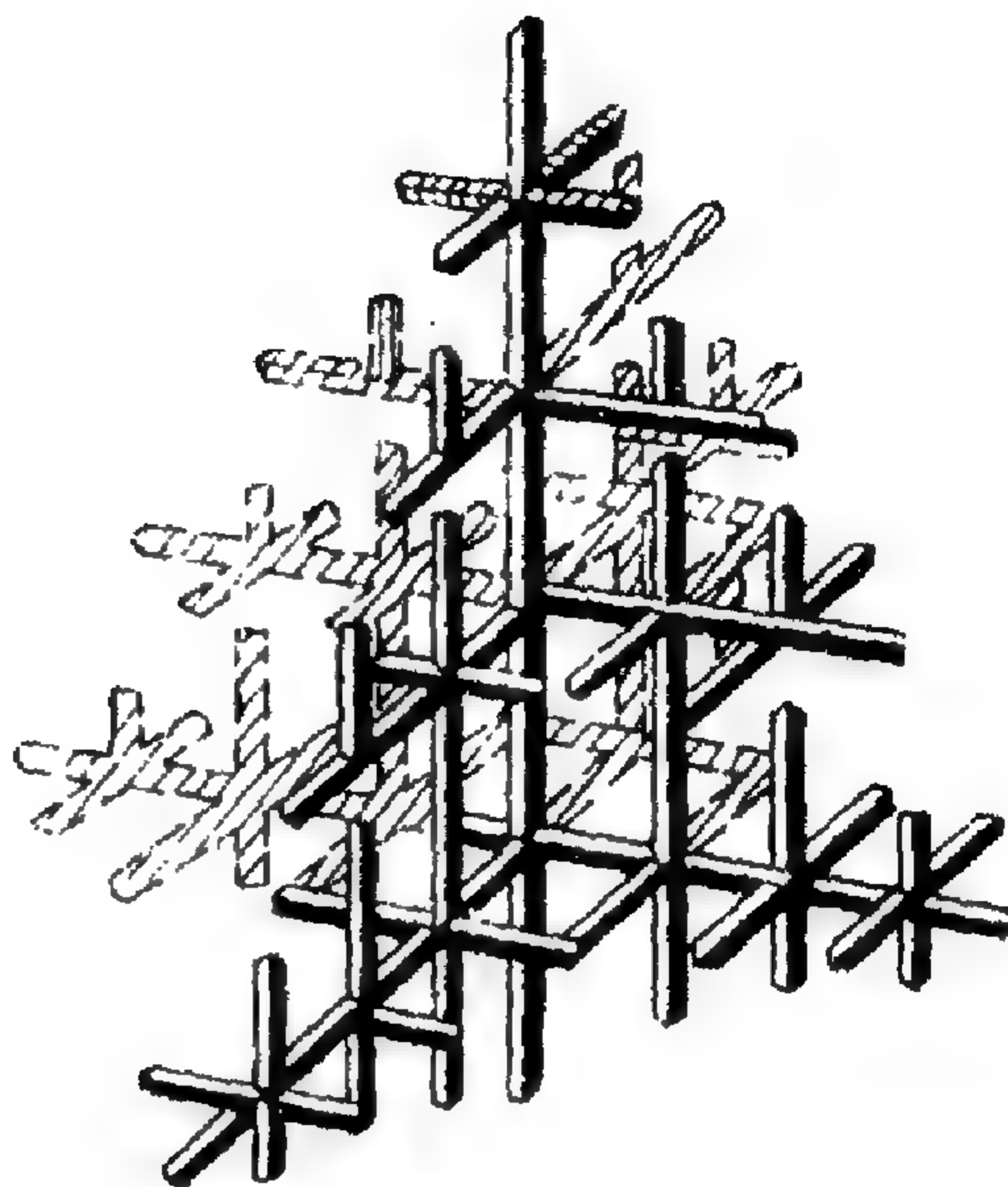
وفيها يتجمد الفلز المنصهر

عند درجات حرارة أقل من

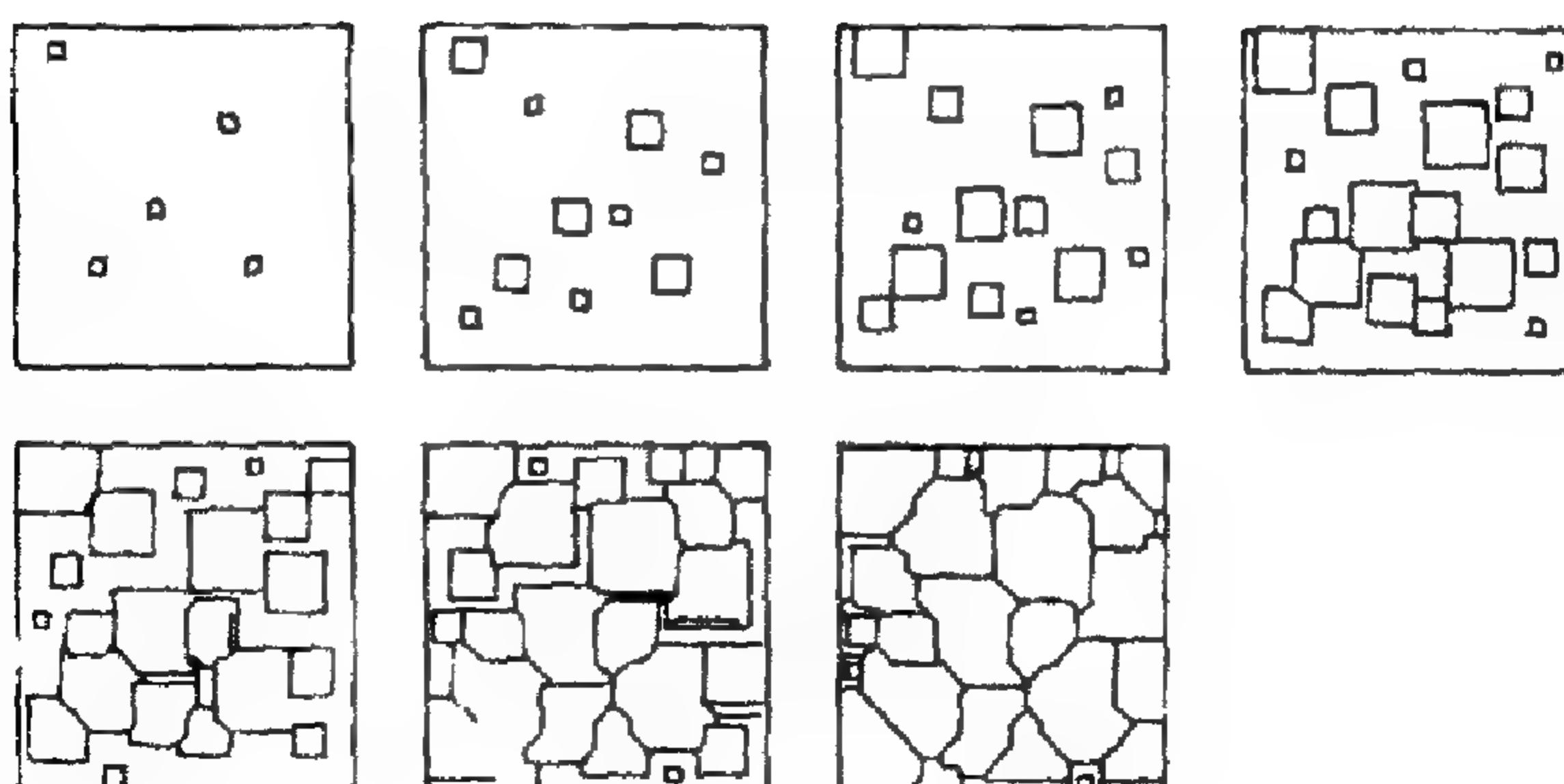
درجة حرارة الاتزان د



ثم لا تلبث أن تصبح نوى تنمو بعد ذلك كتركيب دندريتي (تفرعي يشبه أفرع الشجرة) كما في الشكل (٥٥) ، أو كبلورات متكاملة الأسطح كما في الشكلين (٥٦ ، ٥٧) .

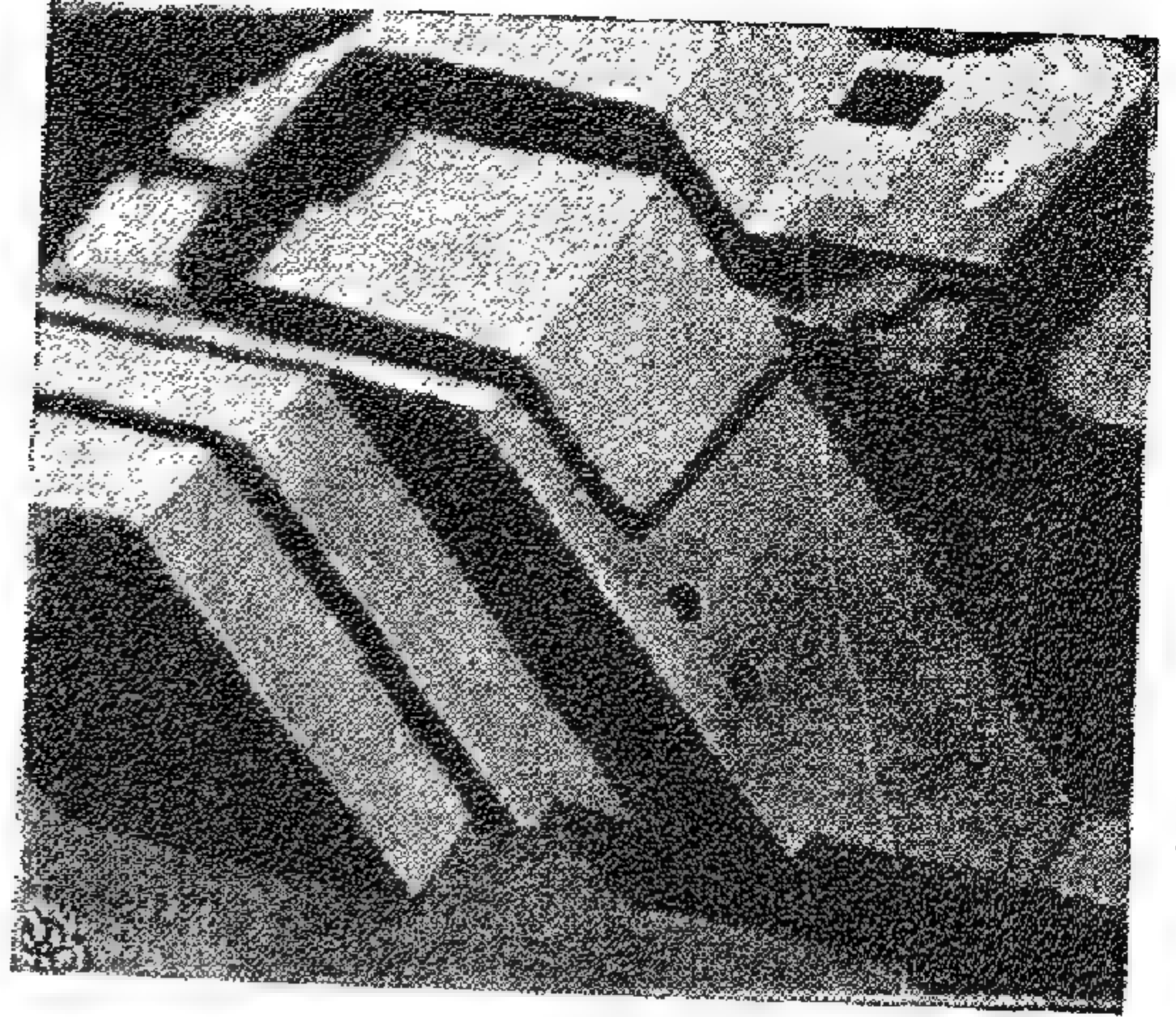


شكل (٥٥)
تركيب دندريتي



شكل (٥٦)

رسم توضيحي يبين خطوات تجمد فلز نقي من حالة الانصهار
حتى تكوين بلورات متكاملة الأسطح



شكل (٥٧)
التركيب البلوري للألومنيوم كما يتضح من
الفحص المجهرى (مكبرة ٧٠٠ مره)

وعندما تتجمد السبائك ، فإن الأصناف (الأطوار) المتكونة حديثا تكون مختلفة في تركيبها الكيميائي عن المحلول المنصهر الأصل . ولذلك ، فإنه لتكوين نواة مستقرة ، لا يكون كافيا حدوث تغيرات في الطاقة فقط - كما هي الحال لمجموعة مكونة من مكون واحد - بل يجب أن يكون هناك تباين في التركيز أيضا .

ويقل كثيرا معدل نمو البلورات في المحاليل عنه في الفلزات الخالصة . ويعزى ذلك إلى أن النمو البلوري في محلول ما لا يكون مصحوبا فقط بتكون نوى ثنائية الأبعاد على أوجه البلورة ، كما يحدث في حالة الفلزات الخالصة ، ولكن يكون مصحوبا أيضا بانتشار ذرات المكونات في المحلول المنصهر . وكلما كان الفرق في التركيز بين المحلول المنصهر وبين البلورات التي تتكون كبيرا ، كان معدل نمو البلورات بطيئا .

وبعد تجمد مصهور السبيكة كلية ، تحدث تغيرات في التركيب البنيائي ، بسبب التحولات التآصلية ، وبسبب تحلل المحلول الجامد نتيجة للتغيرات التي تطرأ على التذبذب المتبادل بين المكونات في الحالة الصلبة .

وتتسم التحولات في الحالة الصلبة بطابع بلوري فقط ، وتم بتكون بلورات الأصناف (الأطوار) الجديدة ثم نموها .

قاعدة الصنف (الطور) ومنحنيات الاتزان :

توضح عملية تجمد السبائك الفلزية ، بواسطة رسومات توضيحية ، تبين اتزانها الكيميائي عند أية درجة حرارة . وهي تمثيل بياني مناسب للتغيرات التي تطرأ على حالتها نتيجة للتباين في درجات الحرارة والتركيز . وتساعد منحنيات الاتزان ، التي تسمى أيضا الرسم البياني للأصناف (الأطوار) ، على معرفة الصنف (الطور) الذي تحتويه السبيكة عند أية درجة حرارة وأي تركيب كيميائي . كما تساعد هذه المنحنيات على تتبع التحولات المختلفة التي تطرأ على الأصناف

أثناء تسخين أو تبريد الشبكة المعنية في حالات اتزانها كيميائياً ، أى عندما تكون كل التفاعلات في المجموعة الكيميائية المعطاة عكسية . وهذا يعنى أن التغيرات التى تحدث في مجموعة ما نتيجة لعمليات تم في اتجاه واحد ، تكون مصحوبة بتغيرات تنتج عن عكس العملية في المجموعة الكيميائية .

وتعرف المجموعة في هذا المجال بأنها ائتلاف لواحد أو عدة مكونات عند مختلف الضغوط والتركيبات الكيميائية .

والمكونات هى تلك المواد (سواء أكانت عناصر أو مركبات كيميائية) ، التى يتعم وجودها بصورة كافية لتكوين مجموعة . وعلى سبيل المثال ، يعتبر الفلز النقي مجموعة من مكون واحد ، وتعتبر شبكة تتألف من فلزين مجموعة ثنائية من مكونين ، وهكذا .

والصنف (الطور) ، هو ذلك الجزء من مجموعة ما ، الذى له صفة التجانس الطبقي والكيميائي . ويكون منفصلاً عن الأجزاء الأخرى بسطح فاصل . وعليه فإن محلولاً سائلاً متجانساً هو في الواقع مجموعة وحيدة الصنف (الطور) . كما أن خليطاً لنوعين من البلورات هو مجموعة ثنائية تتألف من صنفين (نوعي البلورات) ، يختلفان فيما بينهما من حيث التركيب الكيميائي ، والبنيان البلوري وينفصلان عن بعضهما بعضاً بسطح فاصل . كذلك فإن وجود شبكة منصهرة مع بلوراتها المتجمدة ، يمثل مجموعة ثنائية الصنف (ثنائية الطور) .

والمجموعة الكيميائية التى تتألف من عدة أصناف (أطوار) في سلوكها وما يعتمدها من اختلافات ، وما يطرأ عليها من تغيرات وفقاً للظروف الخارجية (درجة الحرارة والضغط) ، إنما تخضع في كل ذلك لقاعدة هامة تعرف بقاعدة الصنف (أو قاعدة الطور) .

وتنص قاعدة الصنف (الطور) على الآتي : في أية مجموعة كيميائية متزنة وغير متجانسة ، فإن مجموع عدد الأصناف الموجودة مضافاً إليه عدد درجات الحرية المتاحة ، يكون مساوياً لعدد المكونات مضافاً إليه عدد العوامل الخارجية .

ويمكن صياغة قاعدة الصنف في معادلة رياضية كما يلي :

$$ص + د = م + ع$$

حيث :

ص : عدد الأصناف (الأطوار) التى في حالة اتزان .

د : عدد درجات الحرية المتاحة للمجموعة (عدد العوامل المتغيرة) .

م : عدد مكونات المجموعة .

ع : عدد العوامل الخارجية (مثلاً : درجة الحرارة ، والضغط) .

ومن المعادلة السابقة نحصل على الصيغة الآتية :

$$د = م + ع - ص$$

وهذه الصورة هي الأكثر شيوعا لقاعدة الصنف .

وعدد درجات الحرية هو المقدار المستقل الخارجى ، أو العوامل الداخلية المتغيرة (درجة الحرارة ، والضغط ، ودرجة التركيز) التى قد تتغير دون أن تتسبب فى اختفاء صنف (طور) موجود ، أو فى تكوين صنف (طور) جديد فى المجموعة .

وعند دراسة الاتزان الكيميائى ، ينظر إلى كل من درجة الحرارة والضغط كعاملين خارجيين يحددان حالة المجموعة الكيميائية .

وعند تطبيق قاعدة الصنف على مجموعات فلزية ، فإنه يمكن التغاضى عن تأثير عامل الضغط ، وعليه يصبح عدد المتغيرات الخارجية عاملا واحدا فقط هو درجة الحرارة ، وتؤول المعادلة إلى الصورة التالية :

$$د = م + ١ - ص$$

وفى مجموعة كيميائية بلغت حد الاتزان ، تكون لكل العوامل الداخلية والخارجية (التركيز ودرجة الحرارة على الترتيب) قيم محددة . ولما كانت درجات الحرية لا يمكن أن تقل عن الصفر :

أى أن :

$$م - ص + ١ \leq \text{صفر}$$

$$\therefore ص \geq م + ١$$

أى أن عدد الأصناف (الأطوار) فى مجموعة متزنة لا يمكن أن يزيد على عدد المكونات مضافا إليها ١ (الواحد الصحيح) . وبناء عليه فإنه من المستحيل وجود أكثر من ثلاثة أصناف (أطوار) فى مجموعة ثنائية متزنة ، كما أنه من المستبعد كلية الحصول على أربعة أصناف (أطوار) فى مجموعة ثلاثية متزنة ، وهكذا . وإذا كان عدد درجات الحرية مساويا للصفر ، عرف الاتزان فى هذه الحالة بأنه « غير متنوع » .

ويلزم لوجود مجموعة فى حالة اتزان غير متنوع ، توافر ظروف محددة تماما : درجة حرارة ثابتة ، وتركيب كيميائى محدد لكل الأصناف (الأطوار) الناشئة .

وعلى سبيل المثال ، فإن فلزا نقيًا منصهرا عند درجة حرارة تقارب بالكاد نقطة تجمده ، يمثل مجموعة كيميائية أحادية (لها مكون واحد هو الفلز النقي) ، وتتكون من صنفين (مصهور الفلز وبعض بلورات منه قد مجمدت لبلوغه درجة حرارة تقارب بالكاد نقطة التجمد) لهما نفس التركيب الكيميائى تماما :

وإذن :

$$د = م + ١ - ص$$

$$= ١ + ١ - ٢ = صفر$$

بما يعنى أن الاتزان « غير متنوع » فى هذه المجموعة الكيميائية . وفى هذه الحالة لا يمكن اختيار درجة الحرارة (نقطة التجمد أو نقطة الانصهار) أو تغييرها عشوائيا . إذ أنه توجد درجة حرارة واحدة فقط تكون عندها المجموعة فى حالة اتزان ، هى درجة حرارة التجمد (أو الانصهار) لهذا الفلز . وإذا كان عدد الأصناف (الأطوار) أقل من أقصى عدد ممكن بواحد (الواحد الصحيح) ، فإن عدد درجات الحرية سوف يزداد هو الآخر بنفس المقدار ، وهو واحد ($د = ١$) ، وتوصف هذه المجموعة بأنها « أحادية التنوع » .

ولنأخذ على سبيل المثال ، سبيكة ثنائية تتكون من فلزين ، أى لها مكونان يكونان مجموعة ثنائية الصنف (طوران) فى الحالة العامة عندما تبدأ فى التجمد . فى هذه الحالة : $د = ١$. وإذا كانت $د = ٢$ لمجموعة ما ، فإنها تعرف بأنها « ثنائية التنوع » ، وعليه فإن المجموعة يمكن أن تكون متزنة عند درجات حرارة وتركيز مختلفين .

وفى الأغراض العملية ، من الضروري الإلمام بحالة السبائك بصفة إجمالية ، ومعرفة تكوينها ، استنادا إلى كل من درجة الحرارة والتركيز . وإذا ما عرفت حالة سبيكة ما ، بدرجة تركيز بعينها عند أية درجة حرارة ، فإنه من المستطاع التنبؤ بخواصها ، وبتقبلها للمعاملة الحرارية ، وقابليتها للتشوه اللدن (نتيجة لعمليات الطرق ، والتشكيل بالكبس ، وبالدرفلة) كما يمكن توقع مسلك هذه السبيكة فى عمليات السباكة ، وملاءمتها لمختلف ظروف التشغيل . وهذا ما يعيننا فى موضوع دراستنا لفلز الألومنيوم .

ويمكن تمثيل جميع التحولات التى تطرأ على سبيكة ما تبعا لدرجات الحرارة والتركيز بواسطة أشكال بيانية تبين منحنيات الاتزان لهذه السبيكة . ويتخذ عادة المحور الأفقى (السينى) لتبيان درجة التركيز ، فى حين يتخذ المحور الرأسى (الصادى) لتبيان درجة الحرارة .

ومن حيث المبدأ ، تمثل منحنيات الاتزان نماذج محددة تماما من الاتزان : التداوب التام أو الجزئى ، وجود أو اختفاء مركبات كيميائية ، إلخ ، ويمكن رسمها على أساس اعتبارات نظرية .

وفى بعض الحالات ، تتطابق منحنيات الاتزان الحقيقية للسبائك تطابقا تاما مع الرسومات البيانية التى تم استنباطها على أسس نظرية .

وعلى كل حال ، فإن منحنيات الاتزان تكون صحيحة فقط تحت الظروف التى تكون فيها العمليات الكيميائية الموجودة فى المجموعة ، فى حالة اتزان .

وفى بنود لاحقة ، سوف نورد دراسة منحنيات الاتزان لمجموعة ثنائية لعناصر التسابك المختلفة مع فلز الألومنيوم ، وذلك لأهميتها نظريا وعمليا .

منحنيات الاتزان لمجموعة ثنائية :

يمكن تقسيم منحنيات الاتزان من حيث تذاوب عنصرى مجموعاتها في كلا الحالتين الصلبة والمنصهرة ، ومن حيث تكوينهما لمخاليط ميكانيكية أو مركبات كيميائية ، إلى الأقسام التالية :

١ - مجموعة ثنائية يؤلف مكوناتها خليطاً ميكانيكياً من البلورات في الحالة الصلبة ، ويتذاوبان تذاوباً تاماً في الحالة المنصهرة .

٢ - مجموعة ثنائية يتذاوب مكوناتها تذاوباً في كلا الحالتين المنصهرة والصلبة .

٣ - مجموعة ثنائية يتذاوب مكوناتها تذاوباً تاماً في حالة الانصهار ، ولكن تذاوبهما في الحالة الصلبة محدود ، ويقل بانخفاض درجة الحرارة .

٤ - مجموعة ثنائية يتذاوب مكوناتها تذاوباً تاماً في حالة الانصهار ، ولكن تذاوبهما محدود في الحالة الصلبة (سبائك لها تحول بريتكى) .

٥ - مجموعة ثنائية يتذاوب مكوناتها تذاوباً تاماً في حالة الانصهار ، ويكونان عند تجمدهما مركبات كيميائية :

(أ) مجموعة ثنائية يتذاوب مكوناتها تذاوباً تاماً في حالة الانصهار ، ويؤلفان مركبات كيميائية ثابتة بعد التجمد .

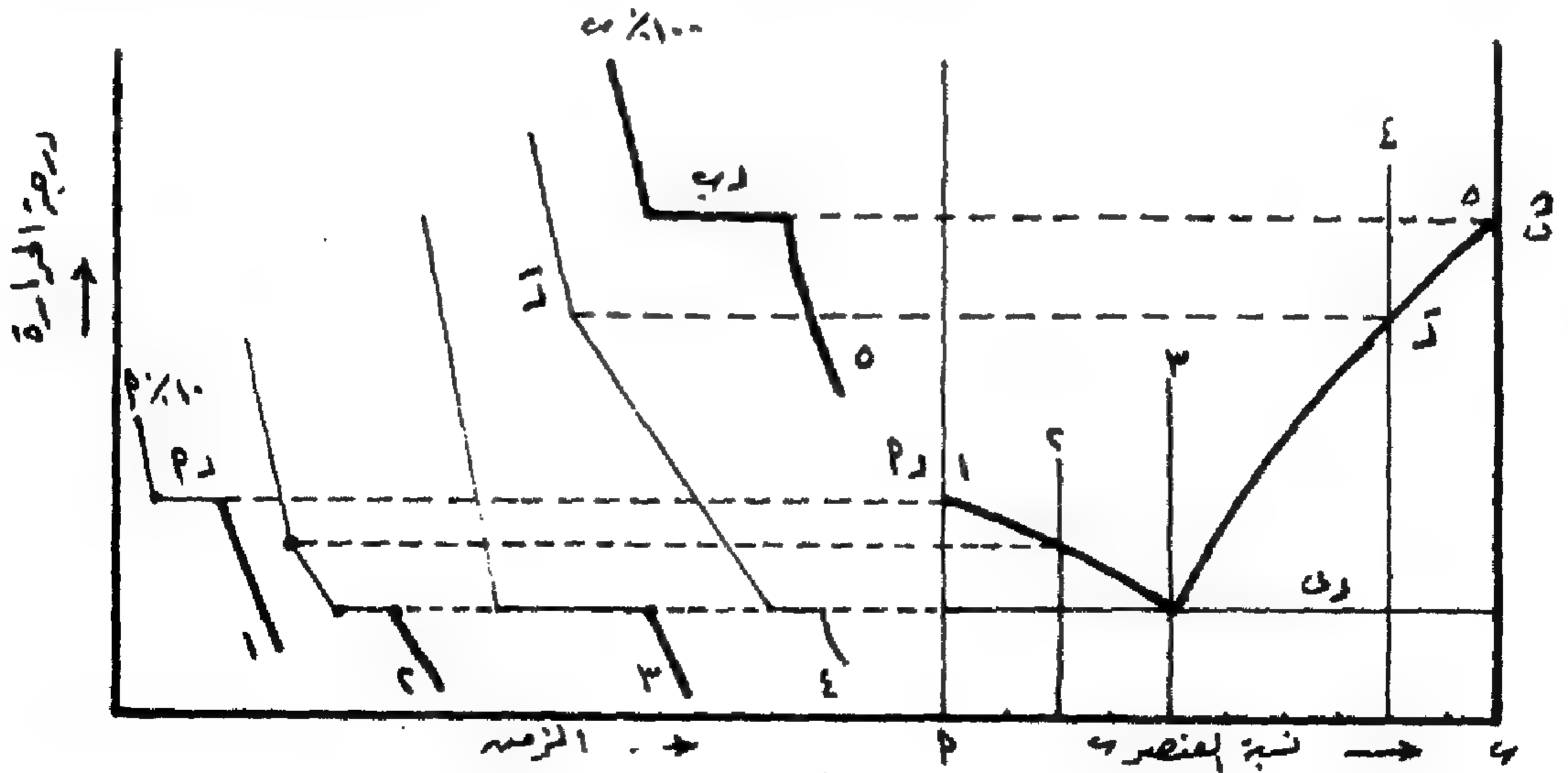
(ب) مجموعة ثنائية يؤلف مكوناتها بالتجمد مركباً كيميائياً غير مستقر ، يتحلل بإعادة التسخين - قبل انصهاره - خلال تفاعل بريتكى ، مكوناً محلولاً جامداً وصنفاً مصهوراً .

٦ - مجموعة ثنائية يتعرض مكوناتها إلى تحولات تآصلية (أى تحولات في البنية البلورية دون حدوث تغير في التركيب الكيميائي)

وفيما يلي نعطى فكرة عامة موجزة عن كل من هذه الأقسام :

١ - مجموعة ثنائية يؤلف مكوناتها خليطاً ميكانيكياً من البلورات في الحالة الصلبة ، ويتذاوبان تذاوباً تاماً في الحالة المنصهرة :

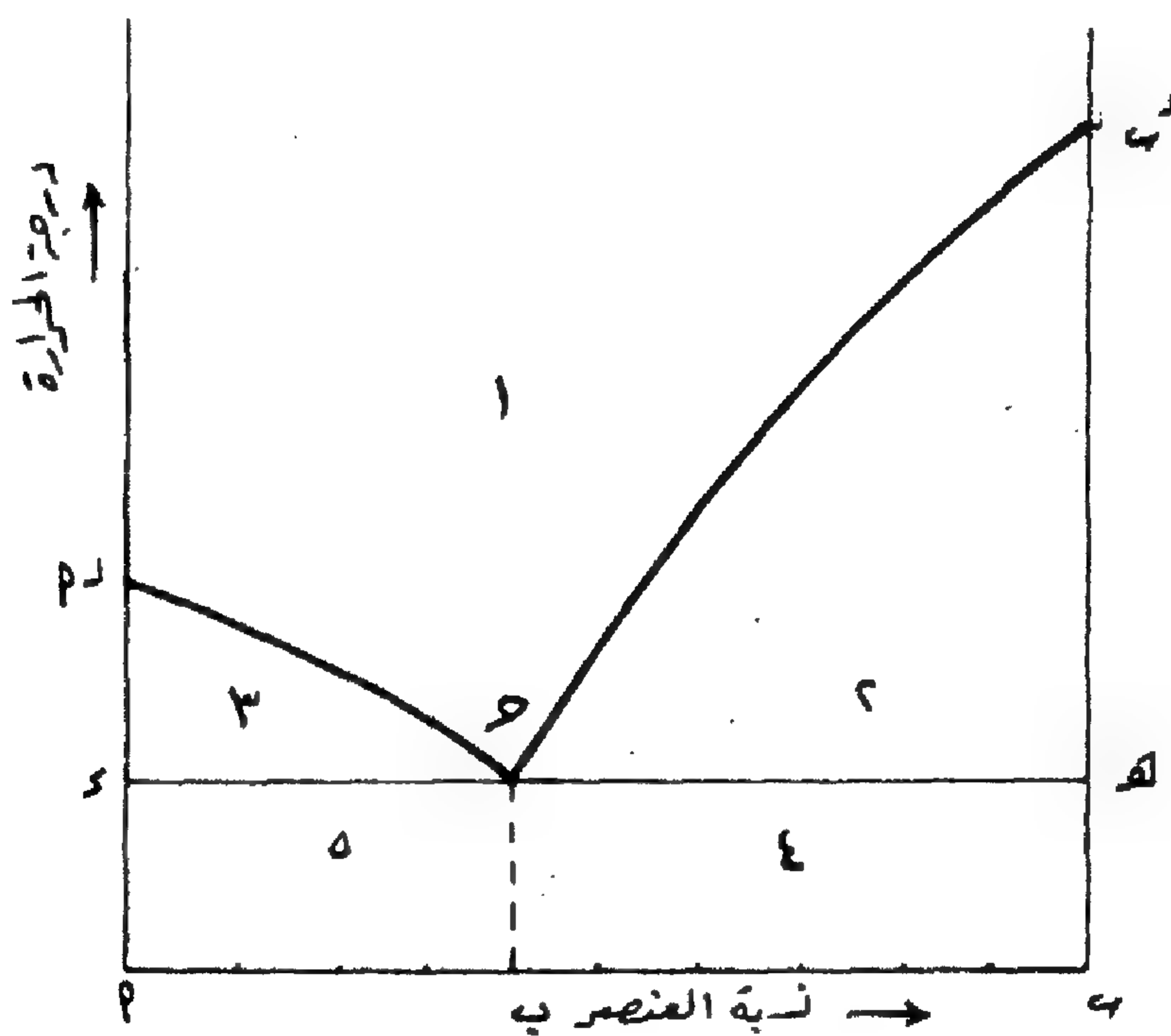
يمكن تمثيل هذا القسم بالرسم البياني كما في الشكل (٥٨) ، وفي هذه الحالة تتكون السبيكة



شكل (٥٨)

رسم منحنى الاتزان لمجموعة من المكونات تذاوب تماماً منصهرة وتكون مخلوطاً ميكانيكياً بالتبريد

التي تمثلها المجموعة الثنائية من خليط ميكانيكي (غير كيميائي) من مكونيها الأصليين .
وتستعيد الفلزات التي تكون مثل هذه الأنواع من السبائك نسقها البلوري ثانية . وقد أمكن
التأكد من ذلك بواسطة الفحص الإشعاعي الذي يظهر الخطوط المناظرة لكلا المكونين والمميزة لهما .
ويبين الشكل طريقة مبدئية لرسم هذا المنحنى الاتزان بواسطة رسم منحنيات التبريد
(درجة الحرارة - الزمن) ، ثم توقيع نقط الانكسار المناظرة لتركيب السبيكة ودرجة
الحرارة لرسم منحنى الاتزان - ويتضح من الشكل أيضا ، أن منحنيات التبريد لكلا الفلزيين
عندما يكونان في حالة نقية ، يمران بفترة زمنية تثبت عندها درجة الحرارة تماما لانبعث
الحرارة الكامنة لانصهار الفلز ، بينما ينكسر الخط عند بدء التجمد في حالة السبيكة . ولكن
درجة الحرارة تأخذ في الانخفاض بمعدل آخر ، إلى أن يتم التجمد كلية فينكسر الخط مرة
أخرى ، نتيجة لتغير معدل التبريد .
ويبين الشكل (٥٩) الرسم الكامل لمنحنى الاتزان مع توضيح الأصناف (الأطوار)
المتكونة .



شكل (٥٩) منحنى الاتزان لمجموعة من المكونين ١ ، ب يتزاوبان تماما منصهرين
ولا يتزاوبان في الحالة الصلبة فيكونان مخلوطا ميكانيكيا

- | | |
|----------------------------------|----------------------------------|
| ١ - مصهور متجانس تماما | ٢ - مصهور + بلورات من العنصر (ب) |
| ٣ - مصهور + بلورات من العنصر (أ) | ٤ - بلورات من (ب) + يوتكتي (أ+ب) |
| ٥ - بلورات من (أ) + يوتكتي (أ+ب) | |

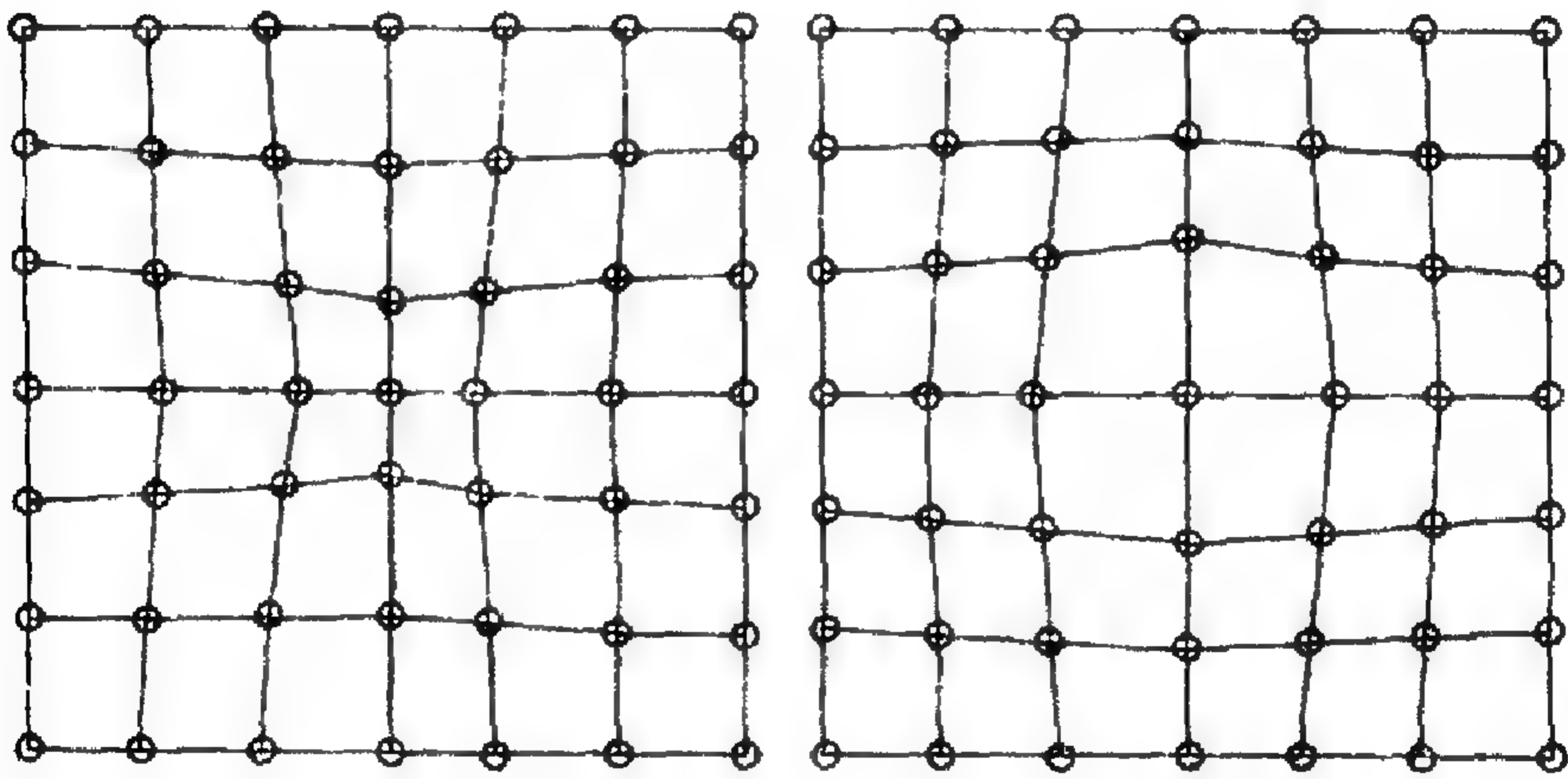
٢ - مجموعة ثنائية يتزاوب مكوناتها تزاوباً تاماً في كلا الحالتين المنصهرة والصلبة :

عند حدوث تزاوب غير محدود في الحالة الصلبة ، يجب أن يكون لمكوني المجموعة الثنائية نفس الطراز من النسق البلوري ، كما يجب أن يكون حجم ذراتهما متقاربين لدرجة كبيرة . فإذا ما زاد الفرق بين حجمي ذراتهما على ١٥٪ استحال تكوينهما لمحاليل جامدة نتيجة للتشوه الحاد في النسق البلوري للعنصر المذيب ، إذ يتم تكون المحلول الجامد بأسلوبين :

١ - الإحلال ، حيث تحل ذرات العنصر المذاب محل بعض ذرات العنصر المذيب ، كما في الشكل (٥١) .

٢ - الالتجاء ، حيث تلجأ ذرات العنصر المذاب إلى المسافات الفاصلة بين الذرات وتكمن فيها ، كما في الشكل (٥٢) . ويمكن أن تحدث هذه الحالة إذا كانت ذرات العنصر المذاب من الصغر بحيث لا تعمل على تشويه النسق البلوري للعنصر المذيب .

وبالنسبة للفرق بين حجمي ذرتي المكونين ، فكلما كان الفرق كبيراً بحيث لا يتعدى النسبة ١٥٪ ، كان هناك تشوه واضح في النسق البلوري للعنصر المذيب ، كما في الشكل (٦٠) .



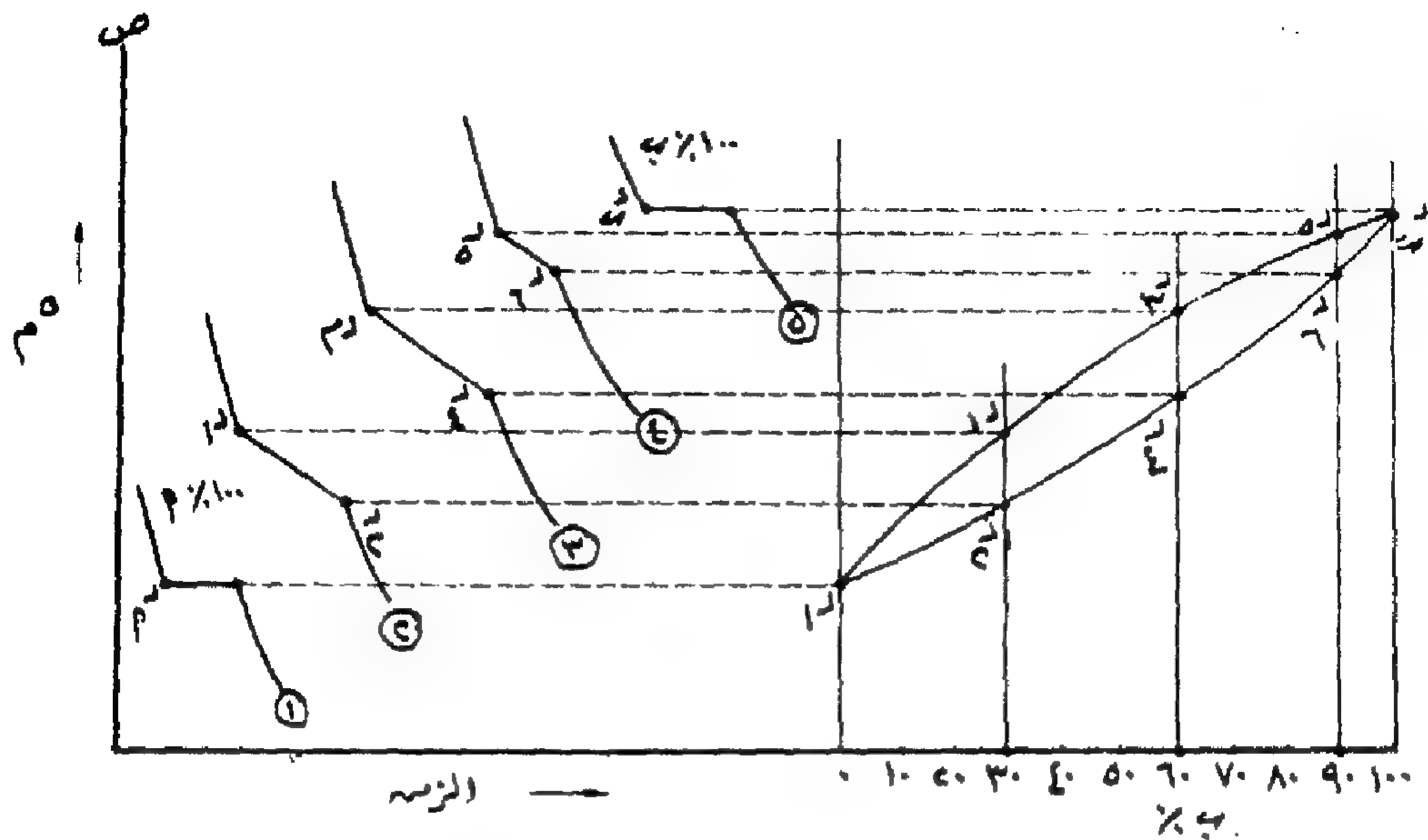
شكل (٦٠)

تشوه النسق البلوري للعنصر المذيب عند تكوين محلول جامد بطريقة الإحلال

فإذا ما زاد الفرق على ١٥٪ ، فإن تكون مركب كيميائي بنسق بلوري مختلف ، أو تكون خليط ميكانيكي من المكونين ، قد يكون أكثر احتمالاً وترجيحاً من وجهة نظر كيميائية تتعلق بالطاقة المطلقة لهذه المجموعة .

كما أنه من ناحية أخرى يميز تكون المحلول الجامد تقارب نقطتي الانصهار للمكونين ، ووقوع هذين العنصرين في موضعين متدانيين من بعضهما بعضاً في الجدول الدوري . (انظر الملحق ١)

ويمثل الشكل (٦١) منحنى الاتزان النقطى لهذه المجموعة الثنائية ، وكيف يعرف مقدما شكل هذا المنحنى بفحص منحنيات التبريد .



شكل (٦١)

الجزء الأيمن : المحور الأفقى يمثل النسبة المئوية لعنصرى المجموعة . المحور الرأسى يمثل درجات الحرارة

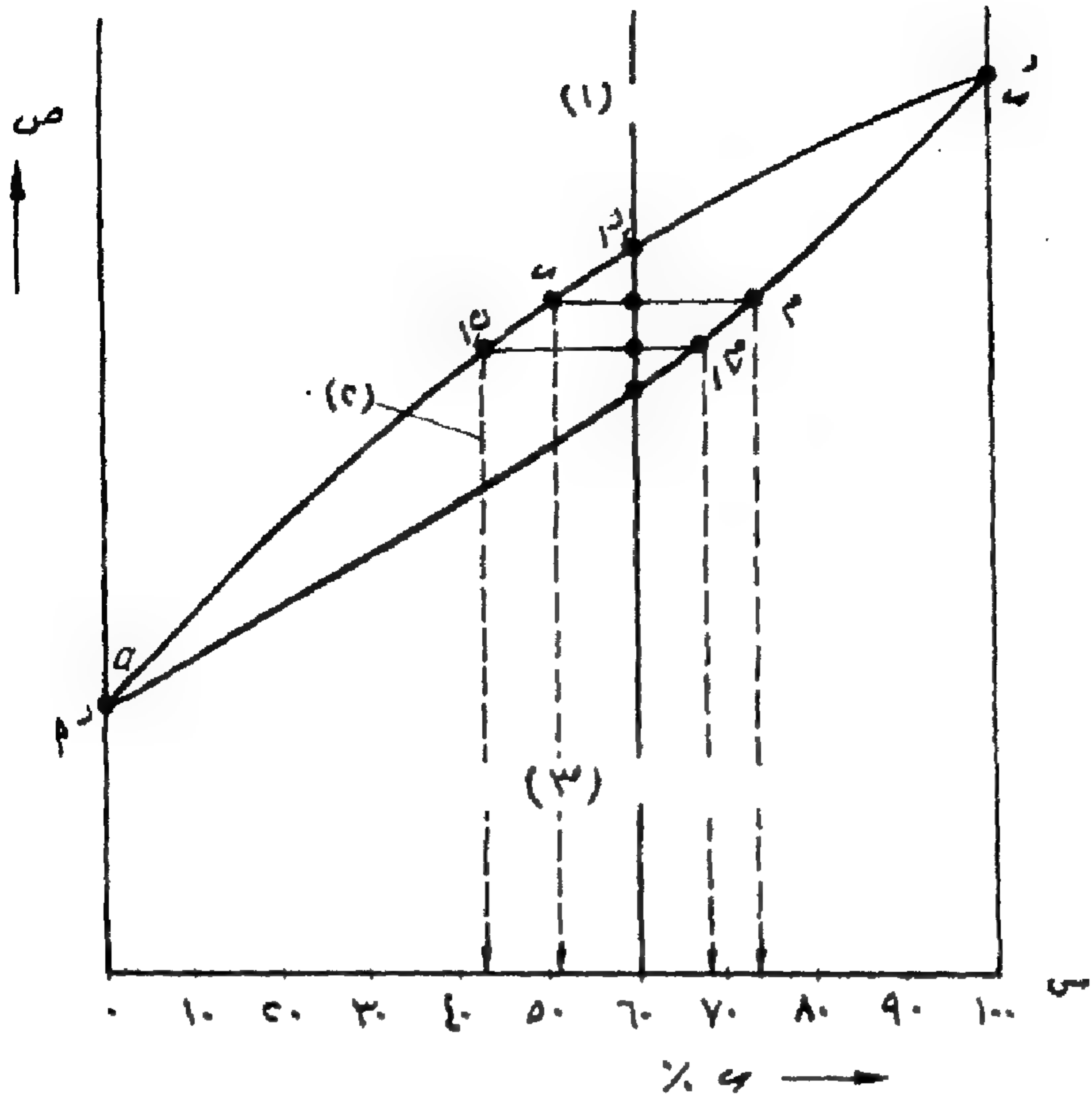
الجزء الأيسر : منحنيات التبريد للمجموعة الثنائية عند درجات تركيز مختلفة للعنصرين مع بعضهما بعضا :

- ١ - منحنى التبريد للعنصر أ النقي (١٠٠٪ أ)
- ٢ - منحنى التبريد للسبيكة (٧٠٪ أ، ٣٠٪ ب)
- ٣ - منحنى التبريد للسبيكة (٤٠٪ أ، ٦٠٪ ب)
- ٤ - منحنى التبريد للسبيكة (١٠٪ أ، ٩٠٪ ب)
- ٥ - منحنى التبريد للعنصر ب النقي (١٠٠٪ ب)

ويبين الشكل (٦٢) رسماً كاملاً لمنحنى الاتزان مبيناً عليه جميع الأطوار المتكونة .

٣ - مجموعة ثنائية يتزاوب مكوناتها تزاوباً تاماً في حالة الانصهار ، ولكن تزاوبهما في الحالة الصلبة محدود ويقل بإنخفاض درجة الحرارة :

نتناول هذا القسم بالتفصيل لأن عدداً لا بأس به من سبائك الألومنيوم يفتى بطريقة أو بأخرى لمثل هذا القسم .



شكل (٦٢)

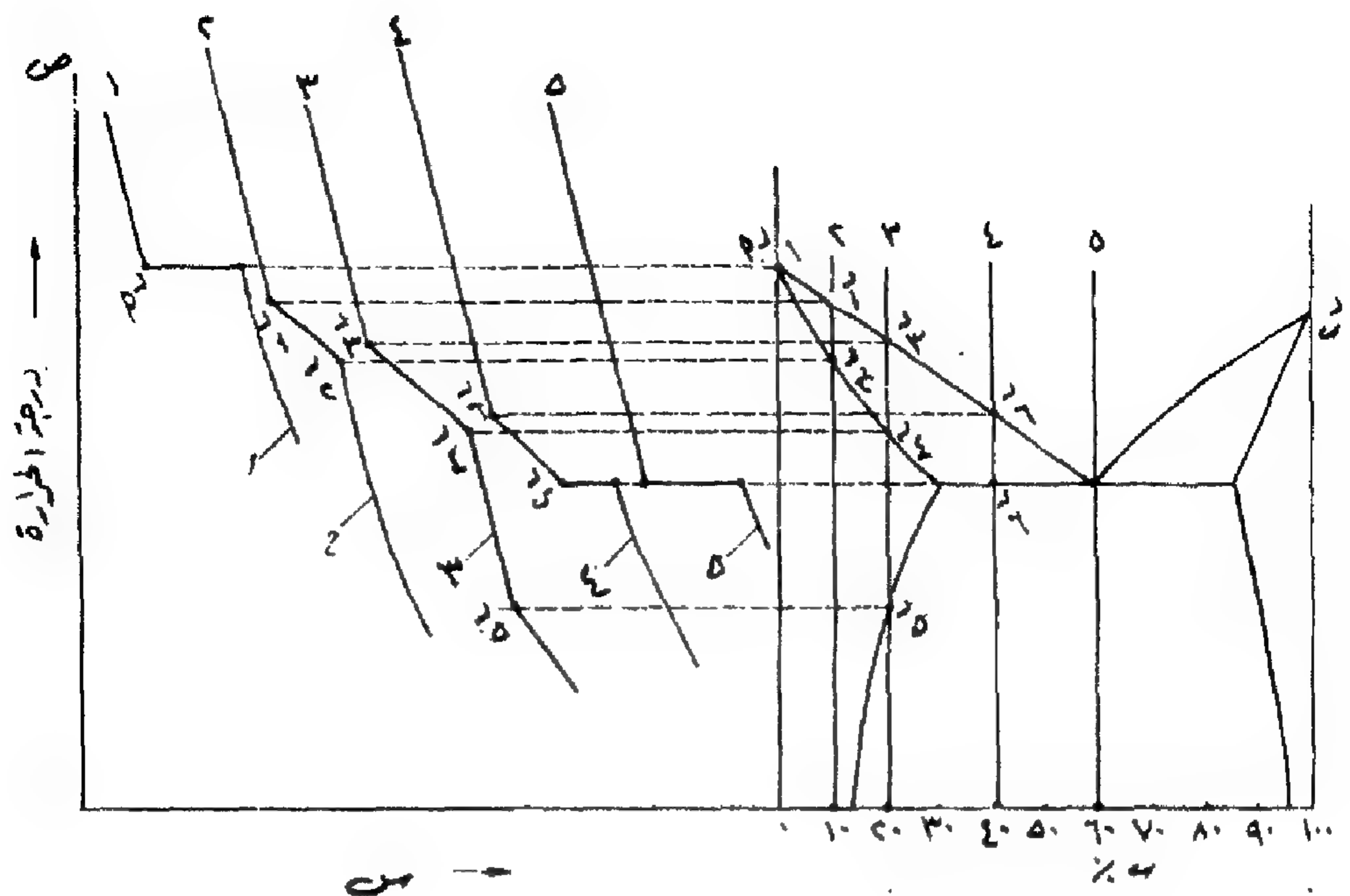
منحنى الاتزان لمجموعة ثنائية نمطية يتداوب مكوناتها تماماً في كلا الحالتين المنصهرة والصلبة :

- ١ - صنف (طور) منصهر
- ٢ - صنف (طور) منصهر + بلورات من المحلول الجامد (١ + ب)
- ٣ - محلول جامد (١ + ب) .

يوضح الشكل (٦٣) كيفية رسم هذا النوع من منحنيات الاتزان ، بينما يبين الشكل (٦٤) الرسم الكامل لمنحنى الاتزان مبيناً جميع الأطوار المتكونة . ويمثل الخطان ا هـ ، ب هـ خطى السيولة للمصهور .

تبدأ بلورات المحلول الجامد للفلز ب مذاًبا في الفلز أ (الصنف α) في الترسيب من السبيكة المنصهرة خلال الخط ا هـ ، ويترسب المحلول الجامد للفلز أ مذاًبا في الفلز ب (الصنف β) خلال الخط ب هـ .

ويمثل الخطان ا د ، ب ج خطى الجمود . والنطقة د تناظر أقصى تداوب للفلز ب في الفلز ا عند درجة الحرارة اليوتكتية (د هـ) ، ونقطة ج هي أقصى تداوب للفلز ا في الفلز ب عند نفس درجة الحرارة .



شکل (۶۳)

من منحنيات التبريد يتم تقليق منحني الاتزان لمجموعة ثنائية يتداوب مكوناتها تماما في حالة الانصهار ، ولكن تذاوبهما في الحالة الصلبة محدود ، ويقل بانخفاض درجة الحرارة :

المحور الأفقي س يمثل الزمن

المحور الرأسى ص يمثل درجة الحرارة المثوية

٢ - منحى التبريد للبيكة (٩٪ ، ١٠٪ ب)

١ - منحني التبريد للعنصر النقي (١)

٤ - منحى التبريد للسيكة (٦٠٪، ٤٠٪ ب)

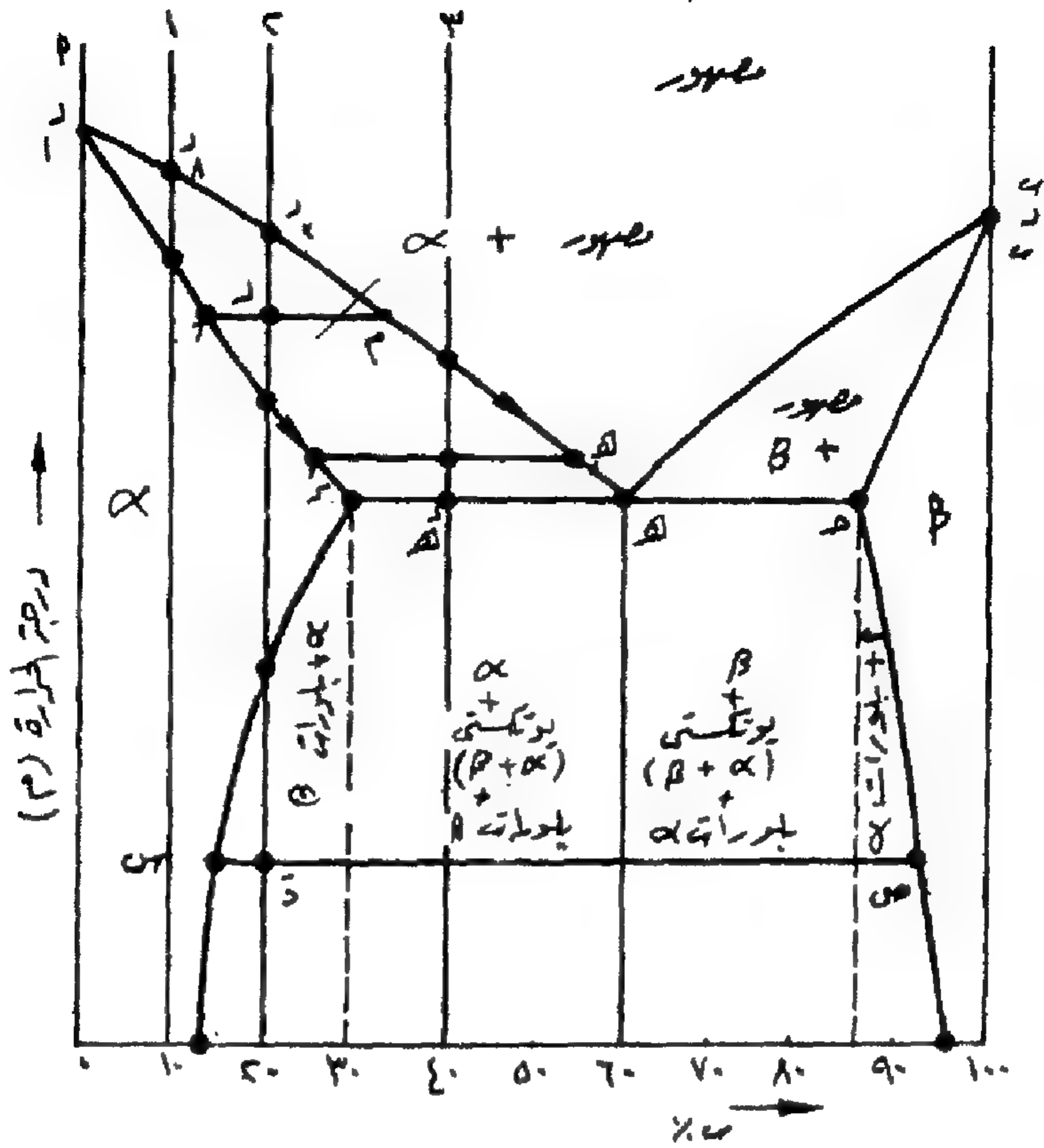
٣ منحنى التبريد للسيكة (٨٠٪ / ٢٠،٦٪ ب)

٥ - منحى التبريد للسيكة (١/٤٠، ٦٠٪ب)

د نقطة انصهار العنصر ١

د نقطة انصهار العنصر ب

د ی نقطه الیونکتی



شكل (٦٤)

منعنى الاتزان النهائى للمجموعة الثنائية السابقة (أنظر شكل ٦٣)

بالمثل فإن النقطتين (و ، ي) تمثلان أقصى تذاوب للفلزين :
 ب فى أ ، أ فى ب على الترتيب عند درجة الحرارة العادية (حرارة الغرفة) ويبين
 الخطان د و ، جى تغير تذاوب الفلز ب فى الفلز أ ، والفلز أ فى الفلز ب ابتداء من درجة
 حرارة الغرفة إلى درجة الحرارة اليوتكتية .

وبتطبيق قاعدة الصنف على هذه المجموعة عند النقطة اليوتكتية هـ :

عدد المكونات (م) = ٢

عدد الأصناف (ص) = ٣ (α ، β ، مصهور)

إذن :

$$د = م + ١ - ص$$

$$= ٢ + ١ - ٣ = صفر$$

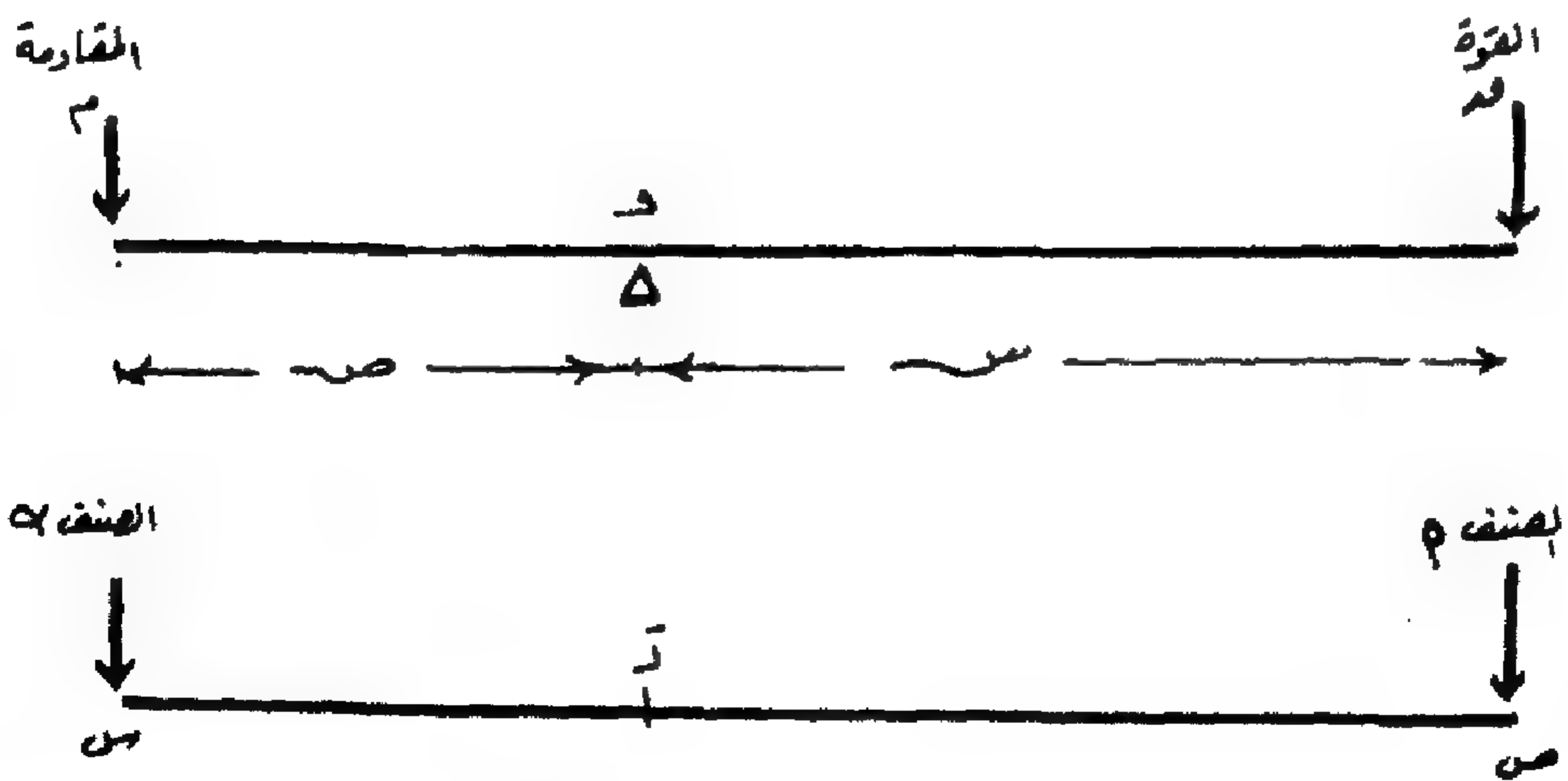
ما يعنى انعدام درجات الحرارة عند هذه النقطة ، أى أن هذا الاتزان هو اتزان وحيد

غير متنوع .

والآن لنعتبر مراحل تجمد السبائك ١ ، ٢ ، ٣ في الشكل (٦٤) . تبدأ السبيكة (١) في التجمد عند درجة الحرارة (د) وتتجمد كلية عند (د٣) . وتحتوى السبيكة المتجمدة فقط على بلورات من المحلول الجامد (α) ، الذى لا يتعرض لتغيرات صنفية (طورية) بانخفاض درجة الحرارة حتى الحرارة المعتادة (درجة حرارة الغرفة) . وتبدأ السبيكة (٢) في التجمد عند درجة الحرارة (د٣) وتنتهى عند (د٤) . وخلال عملية التجمد ، يتغير التركيب الكيميائى للصنف المنصهر تبعاً لخط السيولة ، ومن ثم فإن الصنف المتجمد يتغير باستمرار تبعاً لخط الجمود . ولذلك فإنه عند أية درجة حرارة (د) ، فإن النقطتين (م ، ن) تحددان التركيب الكيميائى للمنصهر وبلورات المحلول الجامد على الترتيب . وعند تجمد السبيكة كلية فإنها تتكون فقط من بلورات من المحلول الجامد (α) . وباستمرار التبريد حتى (د٥) يصبح المحلول الجامد مفرطاً في التشبع . وعليه ، فإنه بانخفاض درجة الحرارة عن (د٥) ، يتحلل المحلول الجامد (β) وتنفصل عنه الكمية الفائضة من المكون ب على هيئة بلورات من الصنف (β) الذى يزداد مقدار وجوده كلما انخفضت درجة الحرارة . وإذن فإنه تحت درجة د٥ ، تحتوى السبيكة على الصنفين α ، β (كما في الشكل) ، ويتغير التركيب الكيميائى لهذين الصنفين خلال الخطين د و ، ج ي على الترتيب . فثلاً عند درجة الحرارة د فإن التركيب الكيميائى للصنف α يكون ممثلاً بالنقطة س ، ويكون التركيب الكيميائى للصنف β ممثلاً بالنقطة ص . ويمكن تعيين النسبة بين كميتهما وزناً كما يلي :

$$\frac{\text{كمية الصنف } \alpha}{\text{كمية الصنف } \beta} = \frac{د'ص}{د''س}$$

وهذه العلاقة في الميتالورجيا مشابهة لعلاقة القوة وذراعها في الميكانيكا (العتلة) إذ أن القوة × ذراعها = المقاومة × ذراعها (كما في الشكل ٦٥) .



شكل (٦٥) تشبيه توزيع كميتى الصنفين α ، β بالعلاقة بين القوة والمقاومة وذراعيهما .

وعلى أساس التغيرات في كل من الطاقة ودرجة التركيز ، فإن نوى الصنف β تتكون أولا على الحدود الفاصلة بين حبيبات الصنف الأصلي α . وبين الشكل (٦٦) ما يحدث في هذه الحالة لسبيكة الألومنيوم والنحاس . ولكن التبريد السريع (التسقية) لهذه السبيكة يعوق تكون بلورات الصنف β ، وبذلك نحصل لحظيا على سبيكة متجانسة تماما بلغت حد التبريد المفرط عند درجات حرارة منخفضة . مثل هذا المحلول الجامد الذي تعرض للتبريد السريع يكون مفرطا في التشبع بالنسبة للعنصر β ، ومن ثم فهو غير مستقر من الناحية الميتالورجية فيتعرض للتفكك بمجرد تسخينه ، بل وعند درجة حرارة الغرفة دون تسخين لبعض السبائك . ويزداد معدل التفكك بارتفاع درجة الحرارة التي يصل إليها بالتسخين . هذا الانفصال للصنف الزائد نتيجة لتفكك محلول جامد مفرط التبريد ، يكون مصحوبا بتغيرات كثيرة في خواص السبائك . ومن الخصائص المميزة لعملية التسقية زيادة الصلادة ، وتسمى الإصلاد بالإزمان ، أو الإصلاد بالترسيب ، أو التعتيق .



شكل (٦٦)

انفصال الصنف الفائض من سبيكة الألومنيوم والنحاس ، وترسبه على الحدود الفاصلة بين الحبيبات ، عندما تتاح الفرصة لهذا الصنف أن يتكون . ويمكن تلافي حدوث هذا الترسب بالتسقية السريعة .

وتبدأ السبيكة (٣) في التجمد عند درجة الحرارة δ وتتجمد كلية عند δ . وخلال عملية التجمد ، يتغير تركيب الجزء المنصهر من السبيكة بصفة مستمرة خلال خط السيولة ، مقتربا من التركيب اليوتكتي (النقطة e) ، كما يتغير تركيب الصنف الجامد خلال خط الجمود متحركا صوب أقصى تداوب له (النقطة d) . وعند النقطة δ . يبلغ الصنف المنصهر التركيب اليوتكتي . وعندئذ تتجمد السبيكة تماما . ومن ثم يترسب المحلولان الجامدان α ، β مكونين حبيبات يوتكتية .

وتتكون الشبكة المتجمدة من بلورات ابتدائية مشبعة تماما من المحلول الجامد ترسبت خلال درجتى الحرارة، δ ، β ، ومخلوط يوتكتى تكون عند درجة الحرارة δ ، ويشتمل على المحلولين الجامدين α و β ، (تركيبهما الكيميائى يمثل بالنقطتين δ ، β على الترتيب) .

وبانخفاض درجة الحرارة تتفكك البلورات α الابتدائية منها أو المحتواة فى الخليط اليوتكتى ، نتيجة لانخفاض إذابتها للعنصر β . ونتيجة لذلك ترسب بلورات من المحلول الجامد β من البلورات α . وباستمرار انخفاض درجة الحرارة يتغير التركيب الكيميائى المصنف α وبلورات β سواء الفائض منها أو الموجودة أصلا فى المخلوط اليوتكتى، خلال الخطين δ ، β على الترتيب . وفى النهاية عندما تصل الشبكة إلى درجة حرارة الغرفة ، فإن التركيب الكيميائى للصنفين α ، β يمكن تحديدهما بالنقطتين δ ، β .

وبديهي أن شبكة تركيبها الكيميائى هو التركيب اليوتكتى نفسه ممثلا بالنقطة δ (٦٠٪ من العنصر β) ، سوف تحتوى بعد تجمدها على حبيبات من الخليط اليوتكتى ($\beta + \alpha$) .

ولأهمية مثل هذا المنحنى من منحنيات الاتزان الكيميائى ، تجدر بنا الإشارة إلى التغيرات التى تطرأ على السبائك التى لها نفس مسلك هذا المنحنى .

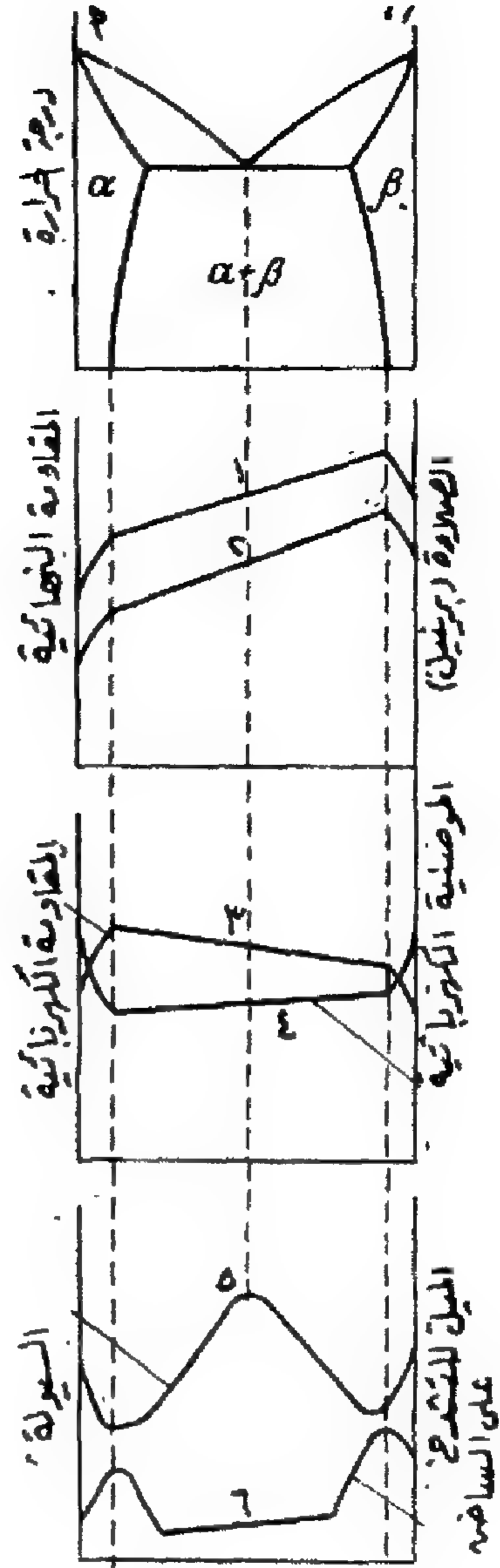
تتغير خواص هذا النوع من السبائك خلال منحنى فى منطقة المحاليل الجامدة المتجانسة ، ثم خلال خط مستقيم فى المناطق التى يوجد فيها خليط من صنفين ، انظر الشكل (٦٧) .

وفى الحالة الثانية ، فإن نقطتى النهايتين للخط المستقيم تناظران خواص المحاليل الجامدة المشبعة تماما .

ويلاحظ أن الخواص فى المناطق التى تحتوى على صنفين (α ، β) تعتمد على درجة انتشار الحليط . وبالطبع لا تتطابق خواص المحاليل المنتشرة انتشارا تاما مع هذا الخط المستقيم .

ولقد أمكن بمواصلة البحث ، التوصل إلى علاقة محددة بين تركيب شبكة وخواص سبائكها (انظر الشكل ٦٧) . وكلما كانت درجة حرارة التجمد أكبر ، كلما قلت سيولة الشبكة ، كما أنه كلما كانت المسافة بين خطى السيولة والجمود أكبر (فى اتجاه أفقى) ، كلما كان هناك نزوع أكبر إلى تكون انغزالية تفرعية فى داخل التركيب البنىائى للشبكة . كما وجد عمليا أن السيولة تزداد زيادة ملحوظة ، فى حين تقل الفرصة لتكون شذوخ على الساخن فى السبائك التى تكون محاليل يوتكتية عند تجمدها .

والسبائك الواقعة فى المناطق التى توجد بها محاليل جامدة ، تكون لها مطيلية عالية ، ومن ثم فإنها تكون طيعة ، ولها قابلية ممتازة للتشكيل بالأساليب المختلفة كالدرفلة والطرق والكبس



شكل (٦٧)

العلاقة بين الخواص وتكوين مجموعة ثنائية لها ذاتية محدودة في الحالة الصلبة :

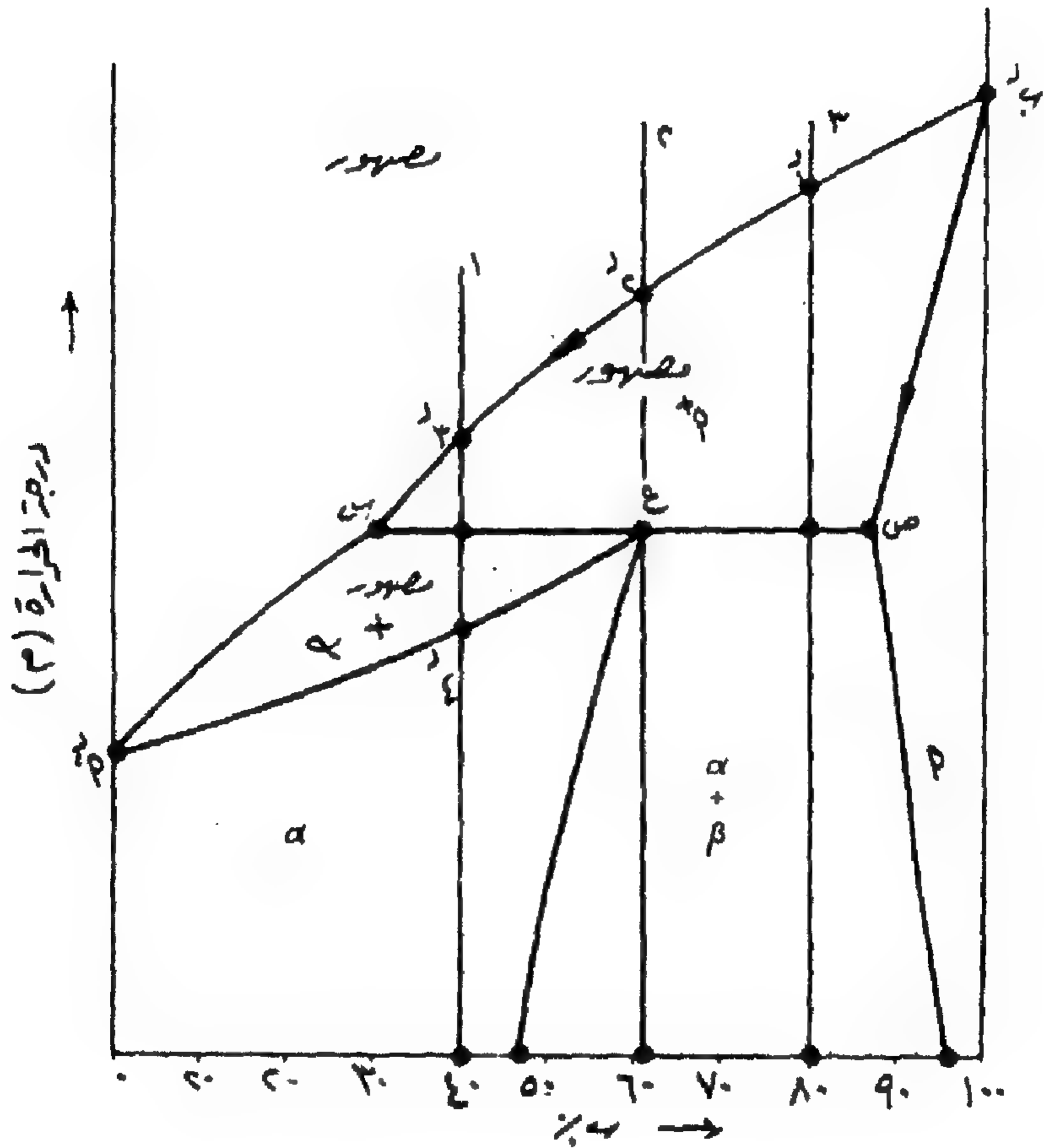
- ١ - المقاومة النهائية كجم / مم^٢
- ٢ - الصلادة (عدد برينيل)
- ٣ - المقاومة الكهربائية
- ٤ - الموصلية الكهربائية
- ٥ - السيولة
- ٦ - النزعة لتكوين شقوق على الساخن

وغيرها . أما التشوه اللدن للسبائك التي تحتوى على مخلوط من أصناف (أطوار) متعددة فيكون أكثر صعوبة ، وتقل قابلية مثل هذه السبائك للتشكيل بطرق الضغط ، فهي لا تستجيب لها بسهولة .

وعند وجود تركيب يوتكتي في بنيان معدني ، فإن مطيلته تقل إلى أقصى حد لها . ونتيجة لذلك فإن أقصى تذاب عند درجة الحرارة اليوتكتية هو الحد الأعلى للتركيز للسبائك التي لها قابلية للتشكيل .

٤ - مجموعة ثنائية يتزاوب مكوناتها تذاوباً تاماً في حالة الانصهار ، ولكن تذاوبهما محدود في الحالة الصلبة (سبائك لها تحول بريتكى) :

يبين الشكل (٦٨) منحنى الاتزان لهذه السبيكة الثنائية . ويختلف المنحنى من هذا النوع عن النوع السابق (الشكل ٦٧) في أن بلورات المحلول الجامد β التي تترسب في أول الأمر عند بدء التجمد لا تلبث أن تتفاعل ثانية مع السبيكة المنصهرة بتركيب كيميائى محدد لتكوين بلورات جديدة من المحلول الجامد α . ويحدث هذا التفاعل ، أو هذا التحول ، عند درجة حرارة ثابتة (مثله كمثل التحول اليوتكتى) ويعرف في هذه الحالة بالتحول البريتكتى .



شكل (٦٨) منحنى الاتزان لسبيكة تتعرض لتحول بريتكى :



٥ - مجموعة ثنائية يتزاوب مكوناتها تزاوبا تاما في حالة الانصهار ، و يكونان عند تجمدهما مركبات كيميائية :

ينشا في كثير من المجموعات الفلزية ، عند تسابكها ، مركب أو عدة مركبات كيميائية . وتنقسم المركبات الكيميائية إلى أنواع ثلاثة رئيسية هي :

• مركبات تكافؤية .

• مركبات إلكترونية .

• مركبات التجائية .

* المركبات التكافؤية : تتميز هذه المركبات بصفة مميزة ، هي عدم تزاوب مكوناتها تزاوبا تاما من الناحية العملية . ومن النادر أن تتكون هذه المركبات في السبائك الفلزية . وفي أغلب الأحوال تتحد المكونات في مركبات كيميائية لا تخضع لقواعد التكافؤ البسيطة .

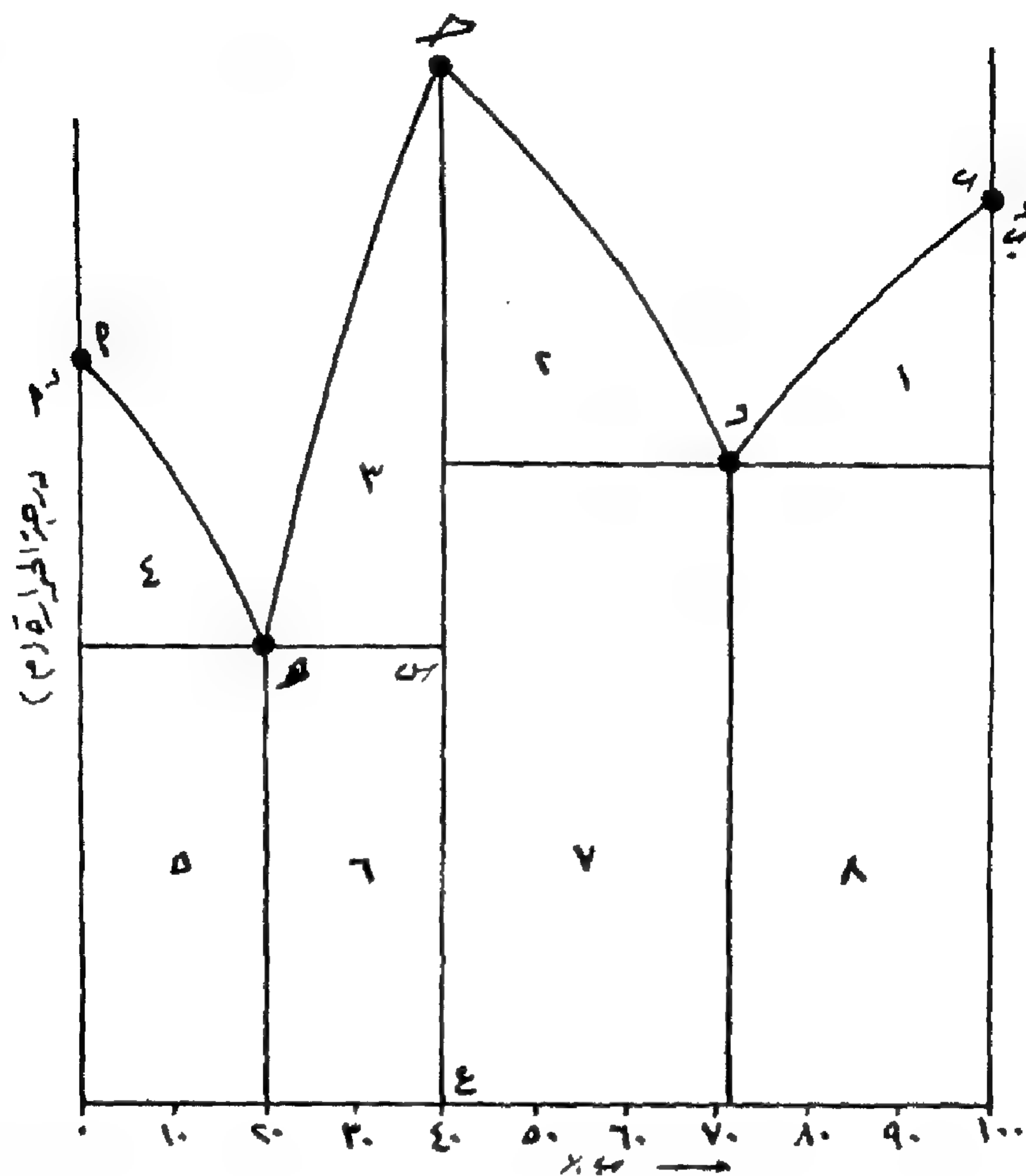
* المركبات الإلكترونية : هذه المركبات لها أهمية كبيرة في المجموعات الفلزية . وللمركبات من هذا النوع نسبة محددة لعدد إلكترونات التكافؤ إلى عدد الذرات ، أي تكون لها نسبة إلكترونية محددة . وعليه . فهناك سلسلة من المركبات لها جميعا نسبة إلكترونية محددة هي ٣ : ٢ ، وسلسلة أخرى لها النسبة ٢١ : ١٣ ، وثالثة لها النسبة ٧ : ٤ . وكل نسبة من هذه النسب المحددة تناظر نمطا محددًا من النسق البلوري . فكل المركبات التي لها النسبة الإلكترونية ٣ : ٢ يكون نسقها البلوري من نوع متمركز البلورة ومن هذه المركبات : نح^٣ لو (نحاس - ألومنيوم) ، نك لو (نيكل - ألومنيوم) ، ح لو (حديد - ألومنيوم) وغيرها . وتعرف هذه المركبات بالصنف β .

وبعض المركبات مثل المركب نح^٤ لو^٤ (نحاس - ألومنيوم) وغيره لها النسبة الإلكترونية ٢١ : ١٣ ، ونسقها البلوري على هيئة مكعب معقد التكوين ، وتعرف هذه المركبات بالصنف cc وهكذا .

* المركبات الالتجائية : يميل عدد كبير من الفلزات إلى تكوين هذا النوع من المركبات الكيميائية ، على شكل كبريتات ونتريدات وغيرها . باتحادها مع العناصر : الكربون ، والنروجين ، والهيدروجين ، واليورون . ولهذه العناصر ذرات صغيرة الحجم يمكنها الالتجاء إلى المسافات البينية بين ذرات الفلزات المذوية لها . وتنظم ذرات المركبات الالتجائية غالبا في نسق بلوري مكعب أو سداسي الشكل حيث تدلف ذرات العنصر المذاب خلاله لتشغل فجوات محددة أو مواضع خالية .

وتختلف المركبات الالتجائية عن المحاليل الباردة الالتجائية ، إذ يختلف نسقها البلوري من النسق البلوري للفلز الذي تتكون منه .

يبين الشكل (٦٩) منحني التوازن لمجموعة ثنائية من هذا القسم . ويوضح الرسم البياني أن الفلزين أ ، ب يكونان مركبا كيميائيا أن ب له نقطة انصهار ثابتة ، هي النقطة ج .



شكل (٦٩) منحى الإيزان لمجموعة ثنائية يتكون من خلالها مركب كيميائى ثابت :
الخط - س ع (٤٠ ٪ ب) يمثل المركب الكيميائى الثابت ان ب م

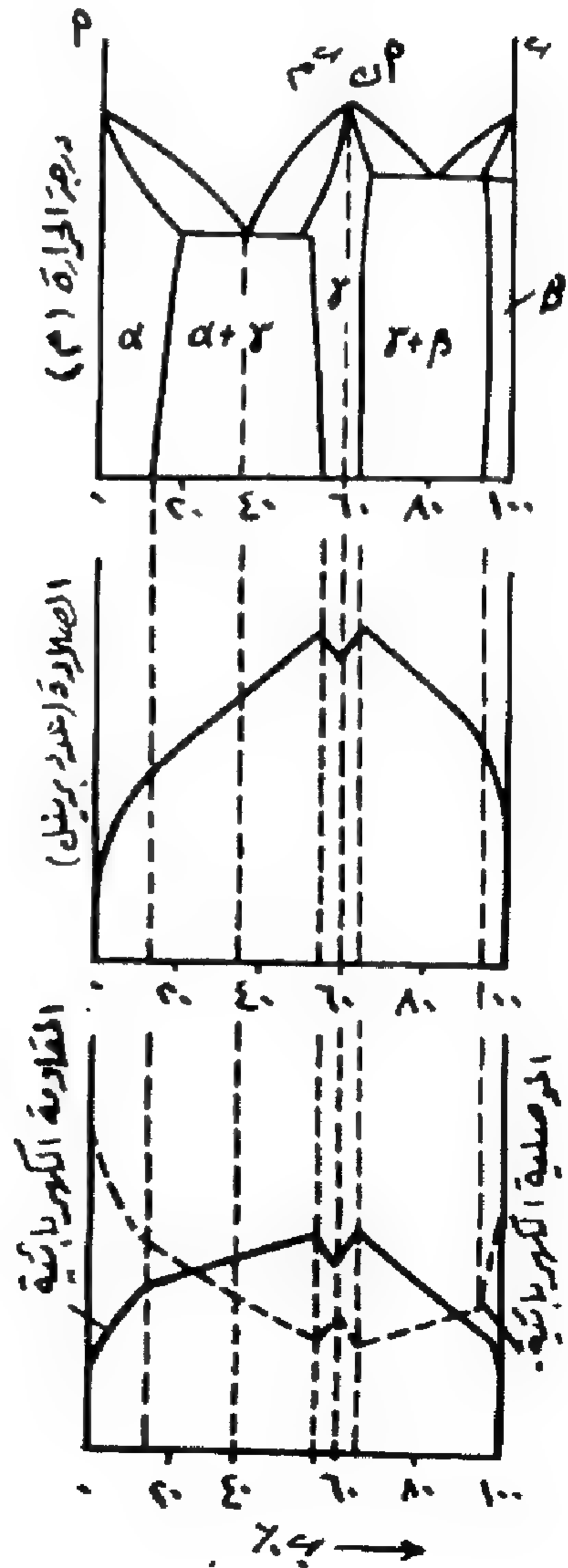
۲- مصبور + ان ب م

۴ - مصهور + بلورات من ا

۷- ان ب م + یوتکتی (ب + ان ب م) ۸- بلورات منب + یوتکتی (ب + ان ب م)

وبالفحص المجهرى ، يلاحظ وجود مركب كيميائى كحييات متعددة السطوح ، ومنفصلة تماماً كما فى حالة الفلز النقي .

ووجود مثل هذا المركب الكيميائى فى الشكل ، يكون بمثابة إحدائى رأسى يناظر التركيب الكيميائى لهذه السبكة ، ويقسم الشكل إلى جزئين ، يمكن اعتبار كل منهما منحى اتزان مستقل ، الأول يشمل العنصر أ والمركب أن ب م ، والآخر يشمل الفلز ب والمركب أن ب م . ويتصلان معاً خلال المركب الكيميائى ، أن ب م وبين الشكل (٧٠) العلاقة بين خواص السبائك التى من هذا النوع وبين تركيبها الكيميائى . ومن السمات المميزة لهذه المركبات الكيميائية صلابتها الزائدة . ومقاومتها العالية للكهرباء ، وقصافتها الكبيرة ، ولذلك فهى غير طيعة ، ولا تستجيب للضغط والكبس ، ولا تناسب أعمال التشوه اللدن .



شكل (٧٠)

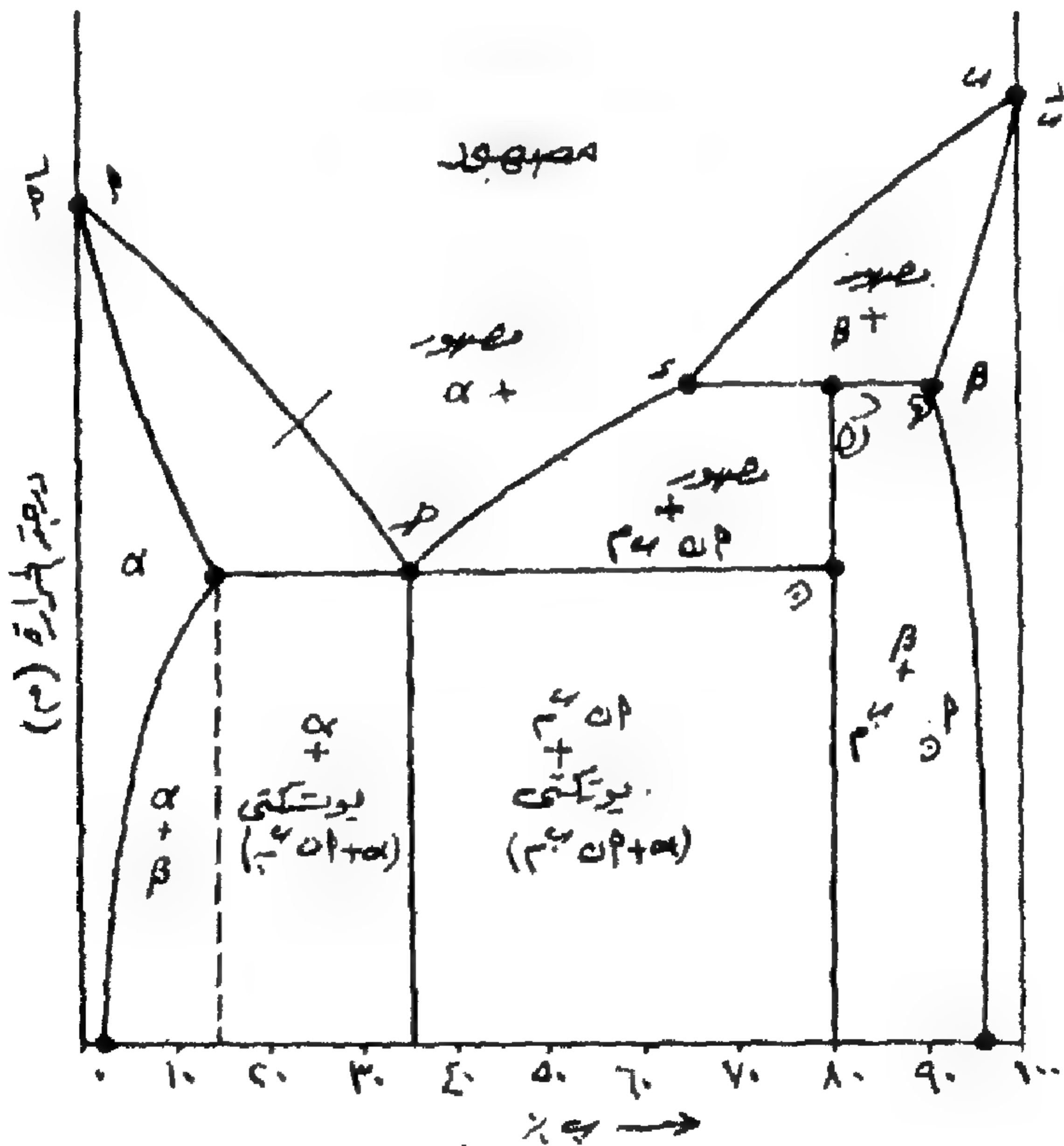
العلاقة بين الخواص والتكوين لمجموعة ثنائية يتكون خلالها مركب كيميائى ثابت .

هـ (ب) مجموعة ثنائية يؤلف مكوناتها بالتجمد مركباً كيميائياً غير ثابت ، ويتحلل بإعادة التسخين قبل انصهاره خلال تفاعل بريتكى مكوناً محلولاً جامداً وصنفاً منصهراً :

يوضح الشكل (٧١) الرسم البياني لمنحنى الاتزان لهذه المجموعة . ويقع المركب الكيميائي أن ب م على الإحداثي الرأسى الذى يناظر ٨٠٪ من العنصر ب . ويتكون هذا المركب عند درجة الحرارة د ن نتيجة لتحول بريتكى بين الصنف المنصهر الذى يناظر تركيبه الكيميائي النقطة د وبين المحلول الجامد β ذى التركيز الأقصى الذى تمثله النقطة هـ . ويمكن تمثيل هذا التفاعل بالمعادلة التوضيحية التالية :



مثل هذا المركب الكيميائي يتكون فقط فى السبائك التى لها تركيبها الكيميائي المحدد دون غيره .

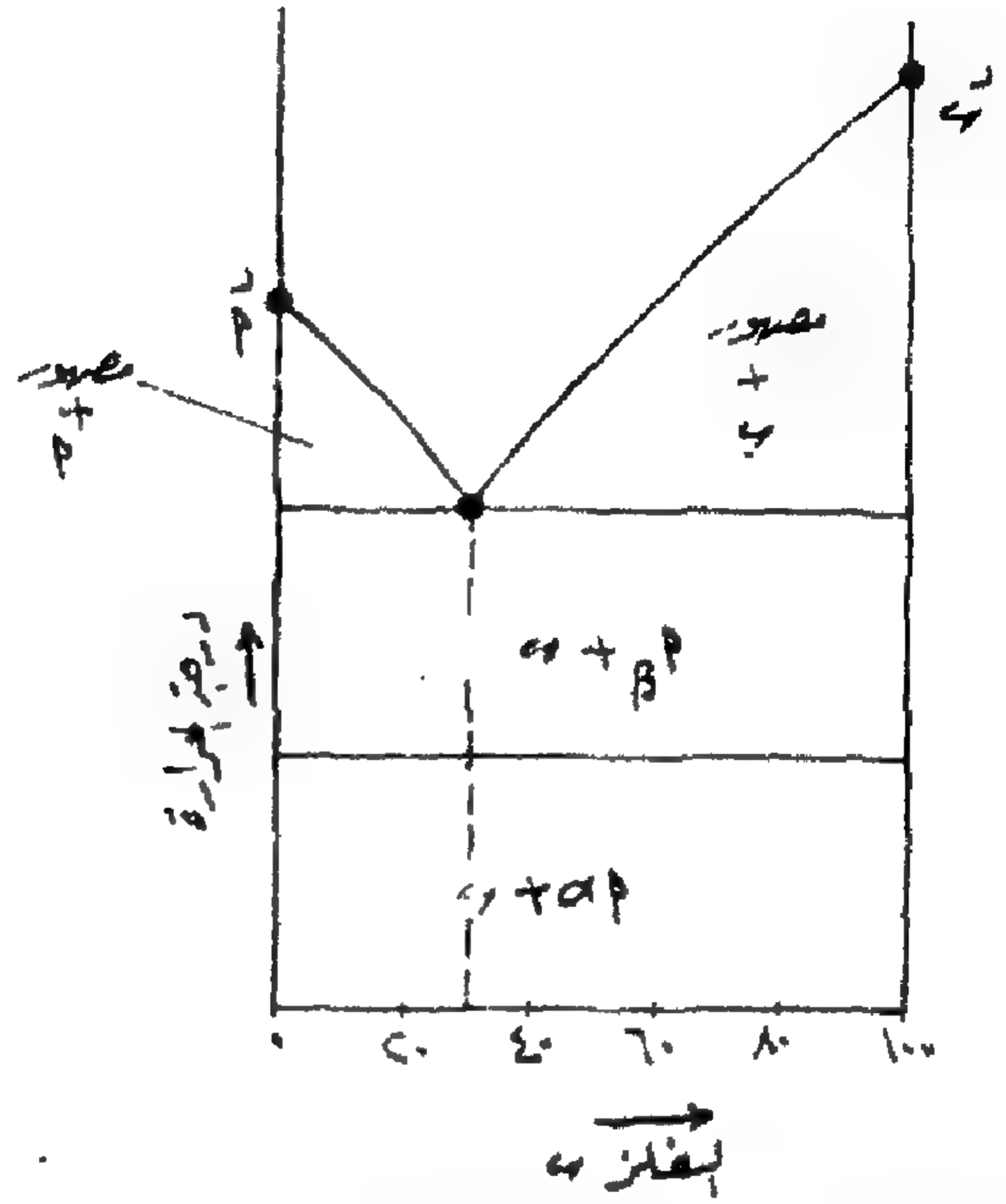


شكل (٧١) منحنى الاتزان لمجموعة يتكون من خلالها مركب كيميائي غير ثابت

٦ - مجموعة ثنائية يتعرض مكوناتها لتحولات تآصلية :

تحدث التحولات الصنفية في الحالة الصلبة في المجموعات التي يتعرض أحد مكوناتها ، أو مكوناتها معا ، إلى تحولات تآصلية .

وبين الشكل (٧٢) منحنى الاتزان لمثل هذه الحالة ، عندما يتجمد مكونا المجموعة كفلزين نقيين ، ولكن يتعرض المكون α بانخفاض درجة الحرارة إلى شكلين تآصيليين . وهذا الشكل يمثل أبسط أنواع هذا القسم ، فهناك ما هو أكثر تعقيدا منه .



شكل (٧٢)

منحنى الاتزان لمجموعة ثنائية لأحد مكوناتها
صورتان متآصلتان تظهران بالتبريد

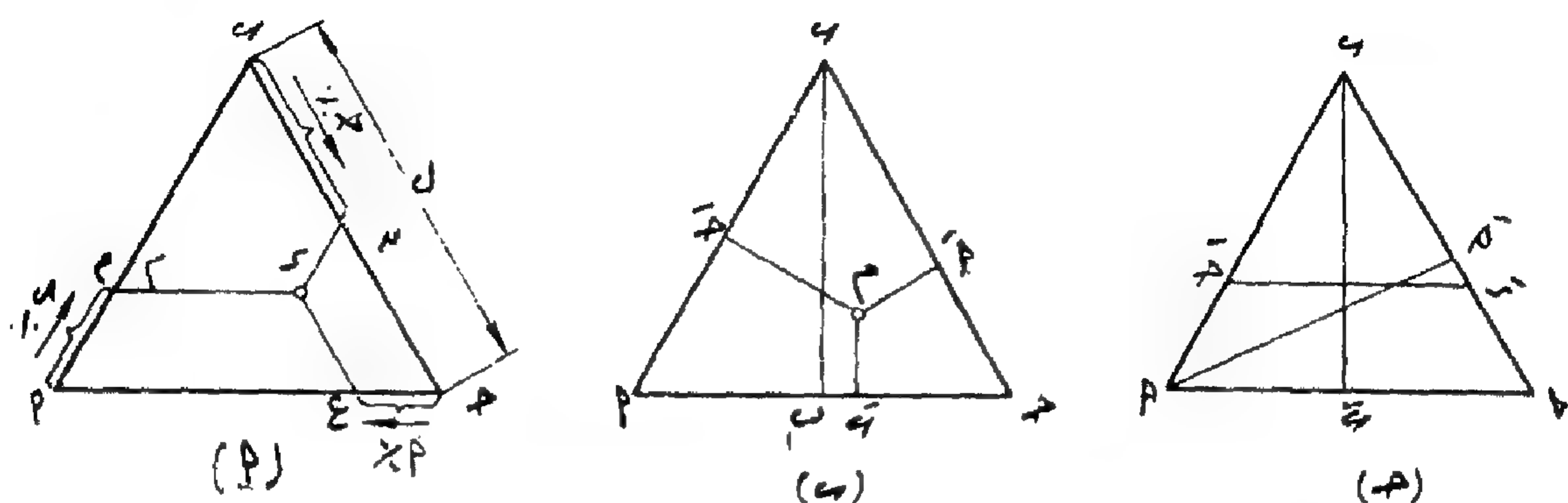
منحنيات الاتزان لمجموعة ثلاثية :

لما كانت السبائك التي تستخدم على نطاق واسع في الأغراض الهندسية والعملية ، تتألف من ثلاثة عناصر فأكثر ، فإنه من الضروري دراسة منحنيات الاتزان لمجموعات تتعدد مكوناتها . مثل هذه المنحنيات تتيح وسيلة ميسرة للتعرف على التركيبات الكيميائية للسبيكة حتى يمكن اختيار الملائم منها . ومن ناحية أخرى فهي تساعد على تفهم واستيعاب مختلف العمليات التي تحدث في مثل هذه المجموعات .

ولقد تم في الواقع عمل العديد من منحنيات الاتزان للمجموعات الثلاثية . ويستفاد منها عمليا على نطاق واسع .

ومنحنى الاتزان لمجموعة ثلاثية نموذج ثلاثي الأبعاد ، يتم رسمه على أساس مثلث متساوي الأضلاع . ويمكن معرفة اتركيز المكونات في المثلث بنفس المقياس ، ويسمى « مثلث التركيز » ويجرى توقيع المكونات على أركان المثلث الثلاثة ، بينما تمثل أضلاع المثلث المجموعات الثنائية التي تتألف من كل عنصرين . وكل نقطة داخل المثلث تحدد التركيب الكيميائي للسبيكة الثلاثية .

وهناك قاعدة هندسية هامة ، هي إحدى خواص المثلث المتساوي الأضلاع ، هذه الخاصية هي أن الخطوط الثلاثة (د ن ، د م ، د ع) ، الشكل (٧٣ أ) التي رسمت موازية للأضلاع الثلاثة من النقطة د داخل المثلث ، تساوى في مجموعها (د ن + د م + د ع) طول ضلع المثلث ل الذي اعتبر ممثلا النسبة ١٠٠٪ من التركيز .



شكل (٧٣) طرق تحديد التركيب الكيميائي لمجموعة ثلاثية

فإذا أردنا معرفة التركيب الكيميائي لسبيكة تمثلها النقطة د . نرسم منها ثلاثة خطوط موازية لأضلاع المثلث ، والأطوال المناظرة للخطوط تعطى النسبة المثوية للمكونات أ ، ب ، ج في السبيكة ، كما في الشكل .

ويمكن تحديد التركيب الكيميائي بطريقة أخرى . في هذه الحالة ، يتخذ ارتفاع المثلث ممثلا ١٠٠٪ . والنظرية الهندسية التي تستخدم في هذه الحالة تنص على أن مجموع ثلاثة خطوط تقام عموديا على الأضلاع الثلاثة من نقطة في مثلث متساوي الأضلاع تساوى مقدارا ثابتا هو طول ارتفاع المثلث (أى أن $ب ب' = م أ' + م ج' + م ب'$) ، كما في الشكل (٧٣ ب) . واستنادا إلى خواص المثلث متساوي الأضلاع ، يمكن بسهولة توضيح ما يلي :

١ - كل السبائك التي يقع تركيبها الكيميائي على خط مستقيم يتصل بأحد رؤوس المثلث على الضلع المقابل ، يكون لها النسبة للتركيب الكيميائي في عنصرين . فثلا ، السبائك التي تقع على الخط $أ - أ'$ تكون النسبة بين مكونيها ب ، ج ثابتة ، الشكل (٧٣ ج)

٢ - جميع السبائك التي تقع على الأعمدة الساقطة من رؤوس المثلث (ارتفاعات المثلث) الشكل (٧٣ ج) ، لها نفس التركيب الكيميائي لمكونين اثنين . فثلا السبائك التي تقع على الارتفاع ب ب' تحتوى على كميات متساوية من المكونين أ ، ج .

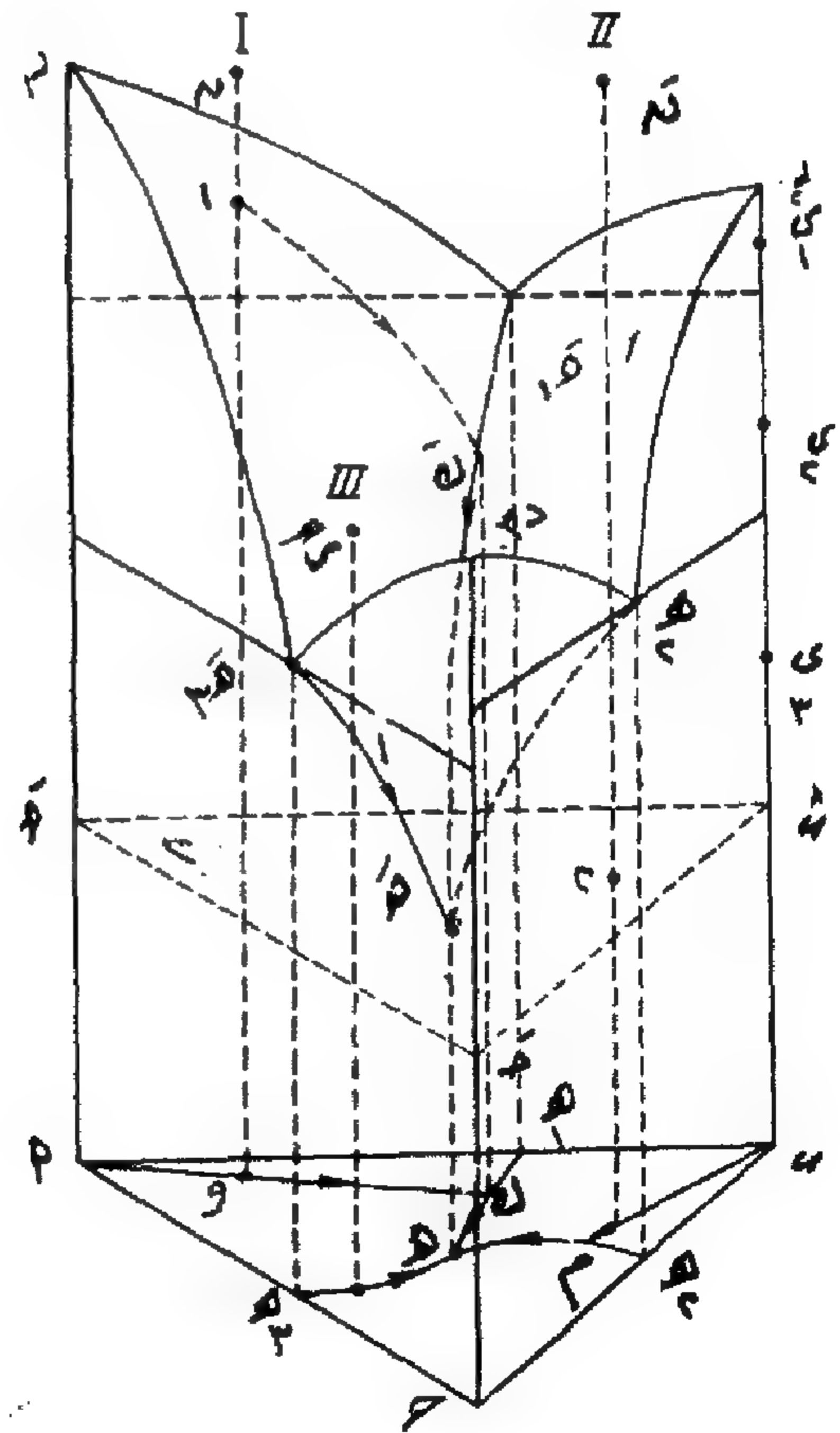
٣ - جميع السبائك التي تقع على خط يوازي أحد أضلاع المثلث (الخط $ح - د$) يكون لها نفس المحتوى من المكون الذي يقع على الرأس المقابل (الرأس ب في الشكل ٧٣ ج)

ويمثل التركيب الكيميائي للسبائك الثلاثية على سطح مستو ، بينما المطلوب أن يكون هناك نموذج مجسم ثلاثي الأبعاد لتوضيح التحولات الحرارية .

ولرسم منحنى لمجموعة ثلاثية ، تم الخطوة الأولى تماما كما في حالة المجموعة الثنائية ، حيث ترسم منحنيات التبريد على محورين يمثلان درجة الحرارة والزمن ، لسبائك لها تركيبات كيميائية مختلفة . وعند إتمام ذلك ، فإن النقط التي تمثل السبائك المختلفة يجرى توقيعها على مثلث التركيز . ثم تقام أعمدة على مستوى مثلث التركيز عند النقط المناظرة . بعد ذلك يجرى توقيع درجات الحرارة للنقط الحرجة لكل سبيكة على العمود المناظر . ويتم رسم الأسطح التي تمر بالنقط الحرجة ، بنفس الطريقة التي رسمت بها الخطوط خلال النقط الحرجة في المجموعات الثنائية . وبذلك نحصل على مجسم ذي أبعاد ثلاثة يمثل المجموعة الثلاثية تمثيلا كاملا .

وتقسم منحنيات الاتزان للمجموعات الثلاثية ، تبعا لنفس الأسلوب الذي قسمت به منحنيات الاتزان للمجموعات الثنائية ، أى وفقا لتذبذب المكونات في حالتى الانصهار والصلابة ، ووجود مركبات كيميائية .

ويوضح الشكل (٧٤) رسما بيانيا لمجموعة ثلاثية ، يتذبذب مكوناتها تذبوبا تاما في الحالة المنصهرة ، وتكون مخلوطا ميكانيكيا بسيطا عند تجمدها .



شكل (٧٤)

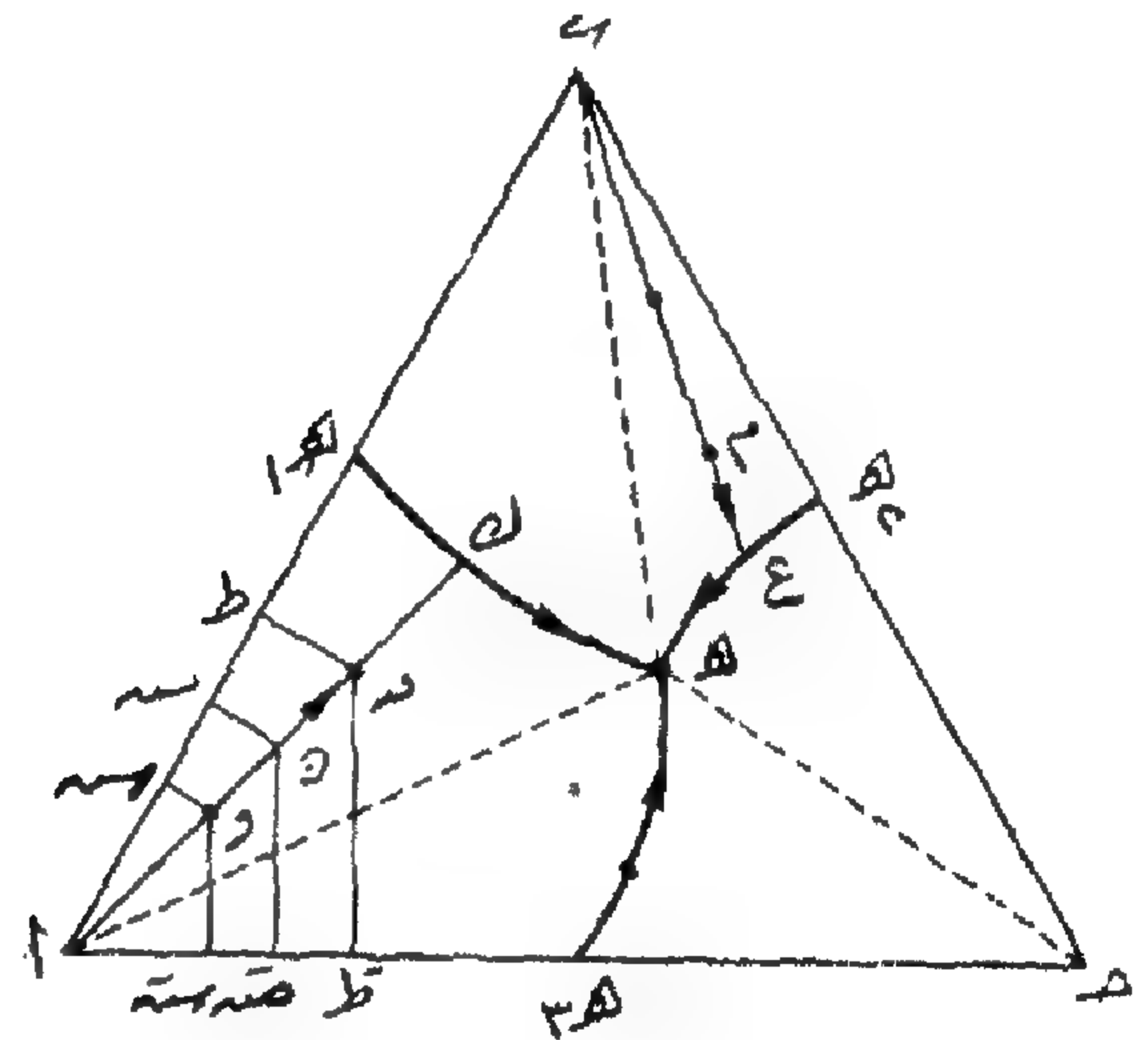
نموذج مجسم لأسطح التوازن لمجموعة ثلاثية
تتذبذب مكوناتها تماما في حالة الانصهار
وتكون مخلوطا ميكانيكيا في حالة الصلابة

ولقد رسمت كل مجموعة من المجموعات الثنائية أ - ب ، ب - ج ، ج - أ على ضلع من أضلاع المثلث الثلاثة كما في الشكل (٧٤) .

ويمثل السطح د_١ هـ_١ هـ_٢ هـ_٣ جزءاً من سطح السيولة (يمثل خط السيولة في المجموعة الثنائية) . وينظر درجات الحرارة التي يبدأ عندها المكون أ في الترسيب من السبيكة المنصهرة . والسطح د_٢ هـ_٢ هـ_٣ هـ_٤ هو سطح السيولة بالنسبة للمكون ب ، والسطح د_٣ هـ_٣ هـ_٤ هـ_٥ يتعلق بترسيب المكون ج . وتمثل الخطوط هـ_١ هـ_٢ هـ_٣ هـ_٤ هـ_٥ خطوط اليوتكتي الثنائية في هذه السبيكة الثلاثية .

وتتقاطع أسطح الجسود الثلاثة هذه في النقطة هـ' المشتركة ، والتي تمثل نقطة اليوتكتي الثلاثية .

وبإسقاط خطوط اليوتكتي الثنائية إسقاطاً عمودياً على مستوى مثلث التركيز أ ب ج ، نحصل على ثلاثة منحنيات ثنائية الأبعاد ، هي هـ_١ هـ_٢ هـ_٣ هـ_٤ هـ_٥ الشكل (٧٥) .



شكل (٧٥)
إسقاط خطوط اليوتكتي الثنائية على مستوى التركيز أ ب ج

وحتى يمكن استيعاب مثل هذا الحجم الذي قد يبدو معقداً ، يجدر بنا دراسة سلوك إحدى السبائك وتتبع خطوات تجمدها . ولتكن هذه السبيكة ممثلة تمثيلاً تاماً بالنقطة و .

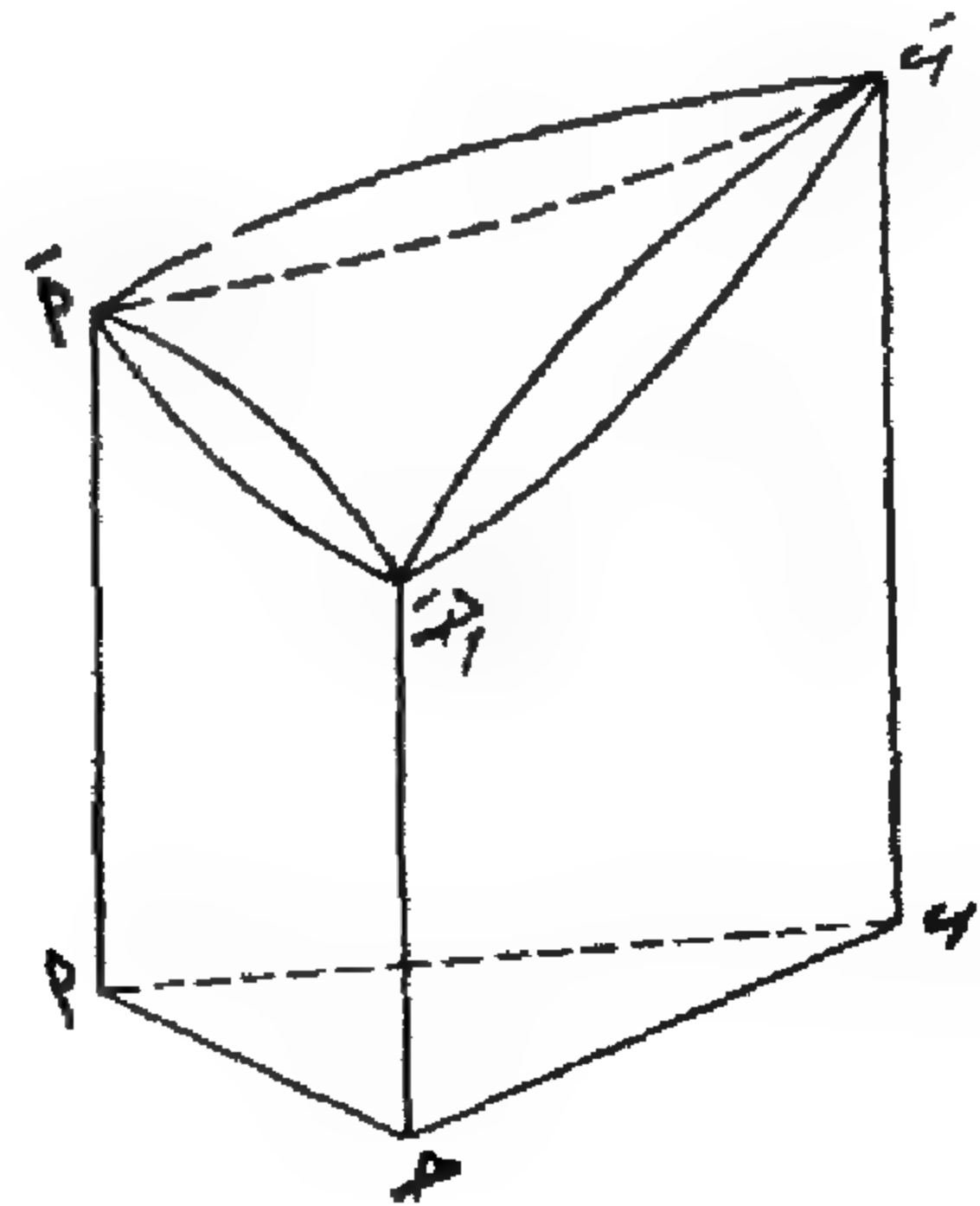
من الواضح - كما في الشكل (٧٤) - أن هذه السبيكة لابد أن تكون منصهرة عند النقطة ن . ولكن بانخفاض درجة الحرارة إلى النقطة (١) التي تقع على سطح السيولة ، تصبح السبيكة مشبعة بالمكون أ فيبدأ في الترسيب عند هذه النقطة . عندئذ تصبح السبيكة المنصهرة غنية بالمكونين ب ، ج ، ويتغير تركيبها الكيميائي خلال سطح السيولة في الاتجاه الك .

بإسقاط المنحنى \bar{a} عموديا على مثلث التركيز ، نحصل على خط مستقيم و \bar{a} (يمكن إثبات ذلك بطرق رياضية) ، يمر امتداده برأس المثلث a (بالرغم من تغير التركيب الكيميائي للسيكة المنصهرة ، إلا أن النسبة بين مكوناتها b ، c تظل ثابتة ، إذ أن كتيهما المطلقة في السبيكة لم تتغير ، مما يحدو بالتركيب الكيميائي للسيكة المنصهرة أن يتغير خلال خط مستقيم يمر برأس المثلث) . وعندما يبلغ تركيب السبيكة المنصهرة النقطة k . تصبح مشبعة بالمكونين a ، b ، ومن ثم يتجمدان بانخفاض درجة الحرارة عن ذلك على هيئة يوتيكتية . ويتكون اليوتيكتي $(a + b)$ خلال درجة حرارة ثابتة تناظر النقطة (2) على الشكل ، الواقعة في المستوى اليوتيكتي $(\bar{a} \bar{b} \bar{c})$ الذي يمر بالنقطة h . وفي النهاية نحصل على سبيكة متجمدة تتألف من بلورات a ، ويوتيكتي $(a + b)$ ، بالإضافة إلى اليوتيكتي الثلاثي $(a + b + c)$.

ثمة سبيكة أخرى تمثلها النقطة m ، سوف تتجمد بنفس الكيفية تماما ، وتتكون بعد تجمدها من : $b + (b + c) + (a + b + c)$.

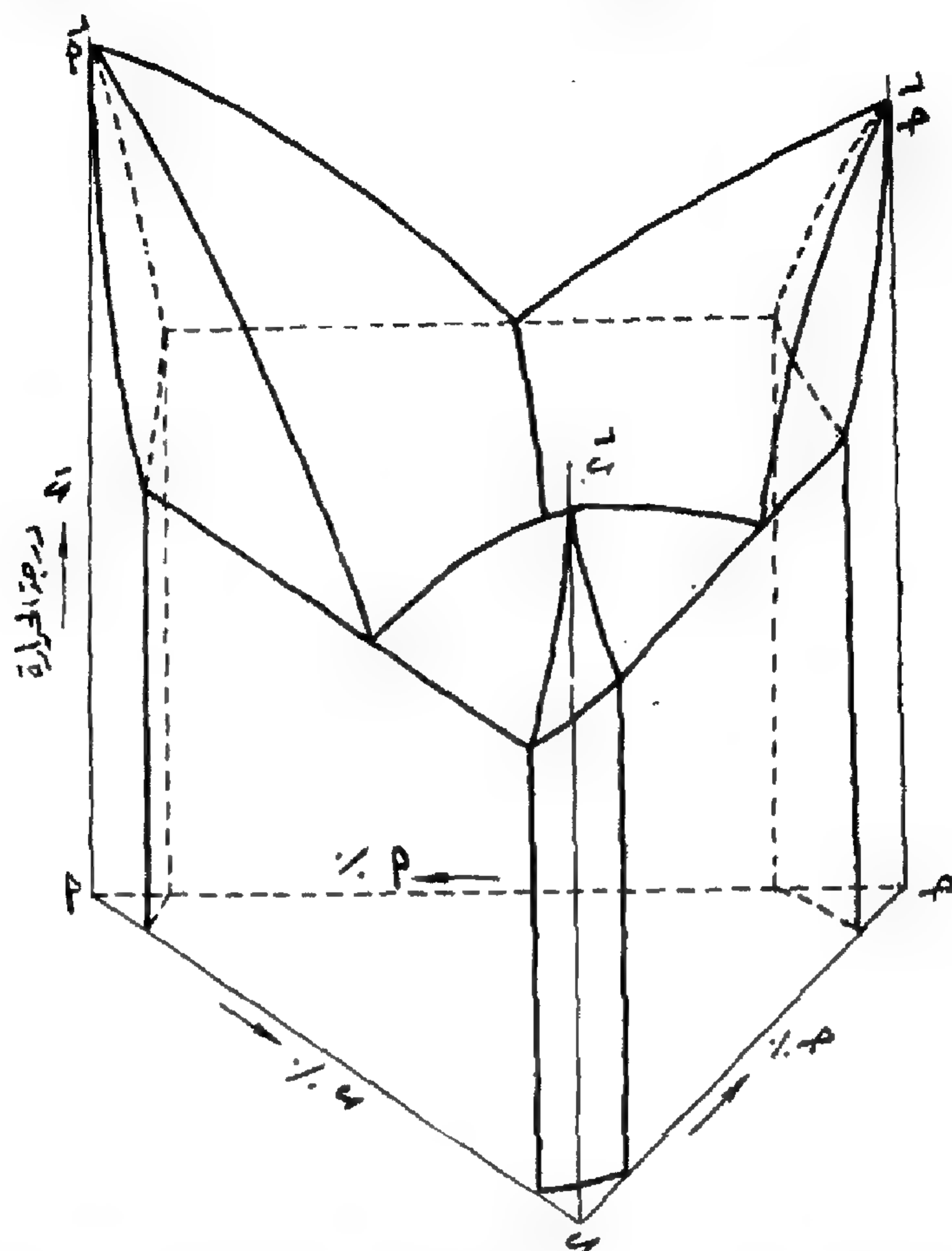
وبالنسبة للسبائك التي تقع على الخطين h ، m ، h ، السبيكة 3 مثلا على الشكل ، سرف تتكون بعد التجمد من يوتيكتي ثنائي ويوتيكتي ثلاثي . أما السبائك التي تقع على الخطوط a ، b ، c ، h ، j ، k ، فسوف لا تحتوي على يوتيكتي ثنائي ، ولكنها سوف تتكون من مكونات زائدة $(a$ ، b أو $c)$ واليوتيكتي الثلاثي $(a + b + c)$.

وبالطبع فإن السبيكة التي تمثلها النقطة h سوف تحتوي فقط على يوتيكتي ثلاثي $(a + b + c)$ وبين الشكل (76) مجسم لمنحنيات اتزان مجموعة ثلاثية من مكونات تتزاوب تماما في كل من حالتى الانصهار والصلابة . لمثل هذا المجسم سطحان ، هما سطح السيولة و سطح الجمود ، يتجمد بينهما المحلول الجامد الثلاثي ، وتتكون السبيكة الصلبة من هذا المحلول الجامد الثلاثي .



شكل (76)
مجسم لأسطح اتزان مجموعة ثلاثية تتألف
من مكونات تتزاوب تماما في حالتى الانصهار
والصلابة

ويبين الشكل (٧٧) مجسماً لمنحنيات اتزان مجموعة ثلاثية محدودة التزاوب في الحالة الصلبة وفي أغلب الأحيان ، تستخدم مقاطعات معينة خلال المجسم ، لتوضيح التحولات والتغيرات



شكل (٧٧) مجسم لمنحنيات اتزان مجموعة ثلاثية محدودة التزاوب في الحالة الصلبة

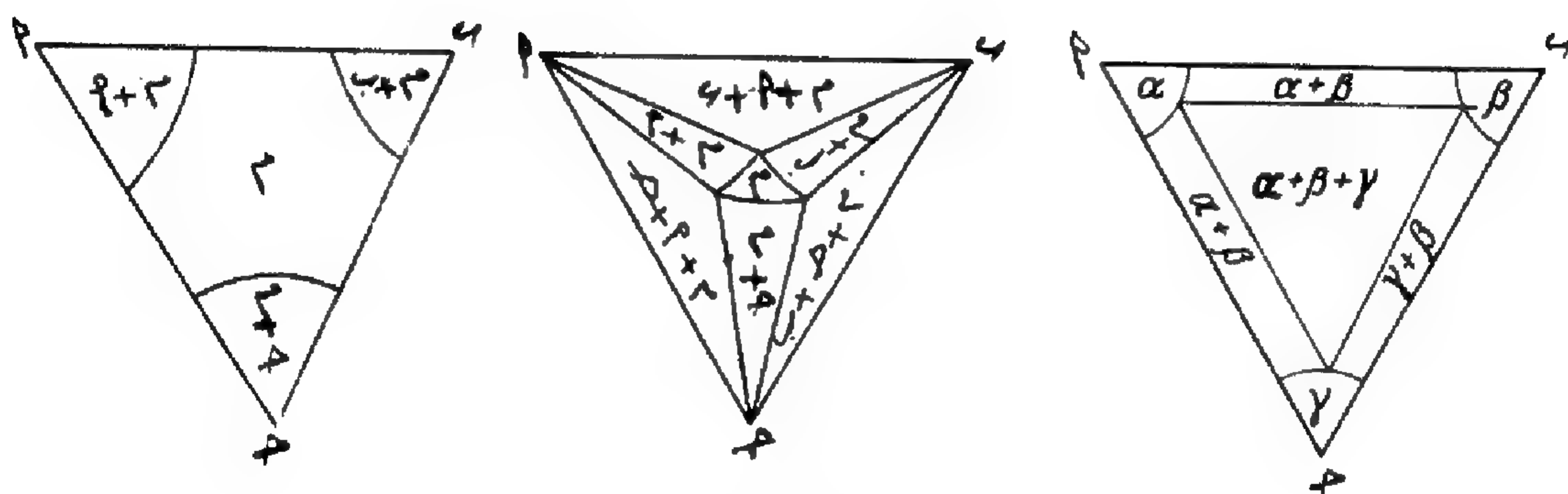
المختلفة التي تطرأ على المجموعة . وهناك طرق عدة للحصول على مثل هذه المقاطعات :

١ - عمل مقاطعات أفقية في المجسم ، سواء على هيئة مقاطعات متساوية الحرارة ، وتمثل الصنف والتركيب البنائي لجميع السبائك عند درجة حرارة معينة ، أو كإسقاطات لأسطح وخطوط معينة على مستوى أفقي (مثلث التركيز) .

٢ - عمل مقاطعات رأسية ، إما موازية لصلع من أضلاع مثلث التركيز ، وإما مارة بأحد رؤوسه ، وفي بعض الأحيان ، تؤخذ مقاطعات خاصة تبين التركيب البنائي عند جميع درجات الحرارة ، ولكنها فقط لتركيبات كيميائية محددة للمجموعة الثلاثية .

ويوضح الشكل (٧٨) قطاعات متساوية الحرارة للمجسم السابق تم الحصول عليها بواسطة مستويات أفقية عند درجة حرارة فوق درجتى الحرارة اليوتكتية الثنائية والثلاثية (و) وعند درجة حرارة أعلى قليلا من نقطة اليوتكتى (هـ) . ويوضح الشكل (٧٨) قطاعات أفقية تحت النقطة اليوتكتية لسبائك تكون محاليل جامدة محدودة .

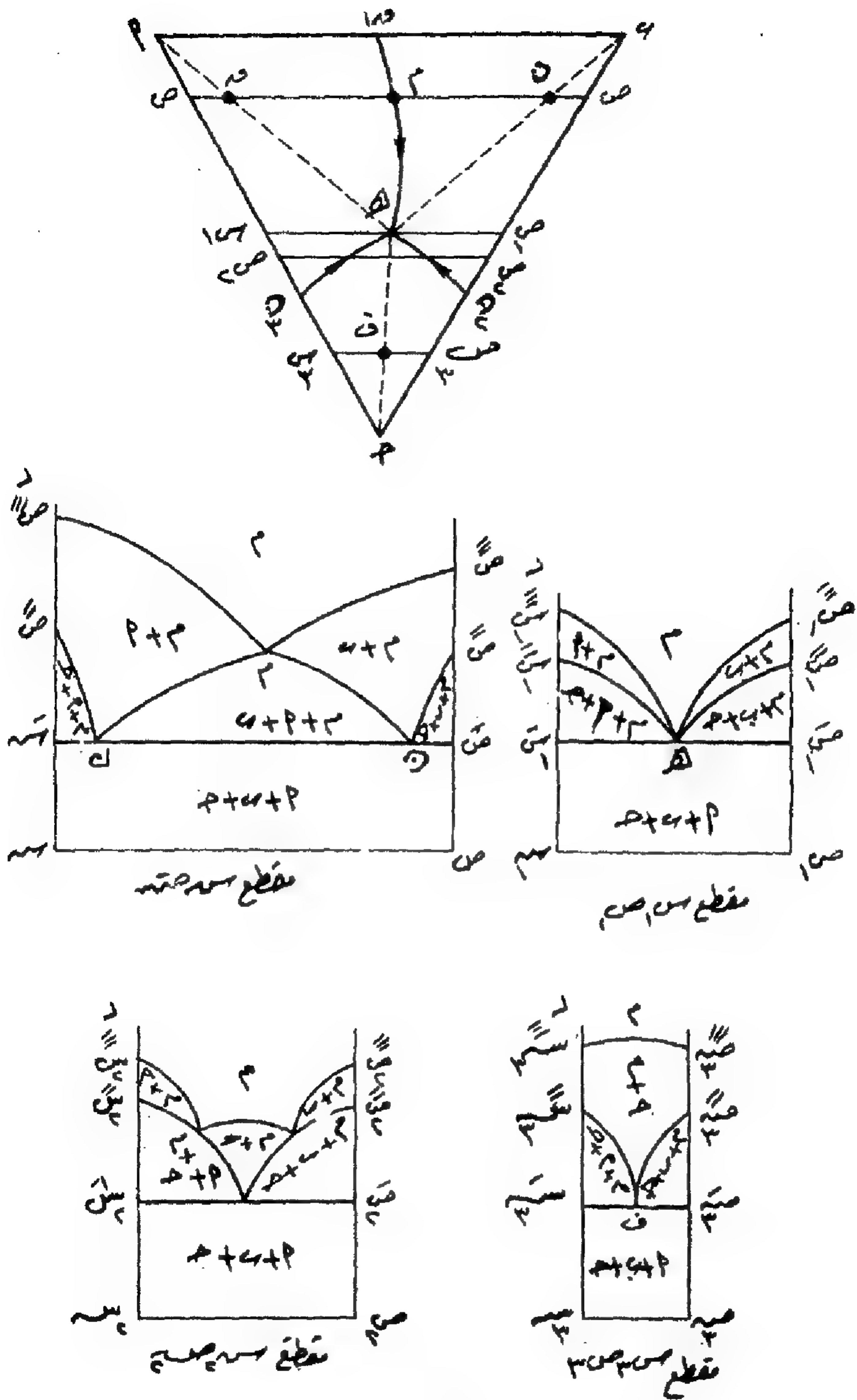
ويبين الشكل (٧٩) عدة قطاعات رأسية فى مستويات توازى الضلع ا ب من مثلث التركيز للمجسم المبين بالشكل (٧٧) .



شكل (٧٨)

قطاعات متساوية الحرارة لمجسم أسطح الإلتزان الحرارى لمجموعة ثلاثية (الشكل ٧٧) :

م : مصهور



شكل (٧٩)
 لقطاعات رأسية في مجسم مجموعة ثلاثية
 م : مصهور

الباب الرابع

المعاملة الحرارية لسبائك الألومنيوم

الألومنيوم كغيره من الفلزات ، يتسبك وهو منصهر مع العديد من العناصر الأخرى . فيتذاب معه كل من النحاس ، والمغنسيوم ، والسيليكون ، والمنجنيز ، تذاوبا تاما دون حدود في الحالة المنصهرة ، ولكن تذاوبها معه في الحالة الصلبة يكون محدودا .

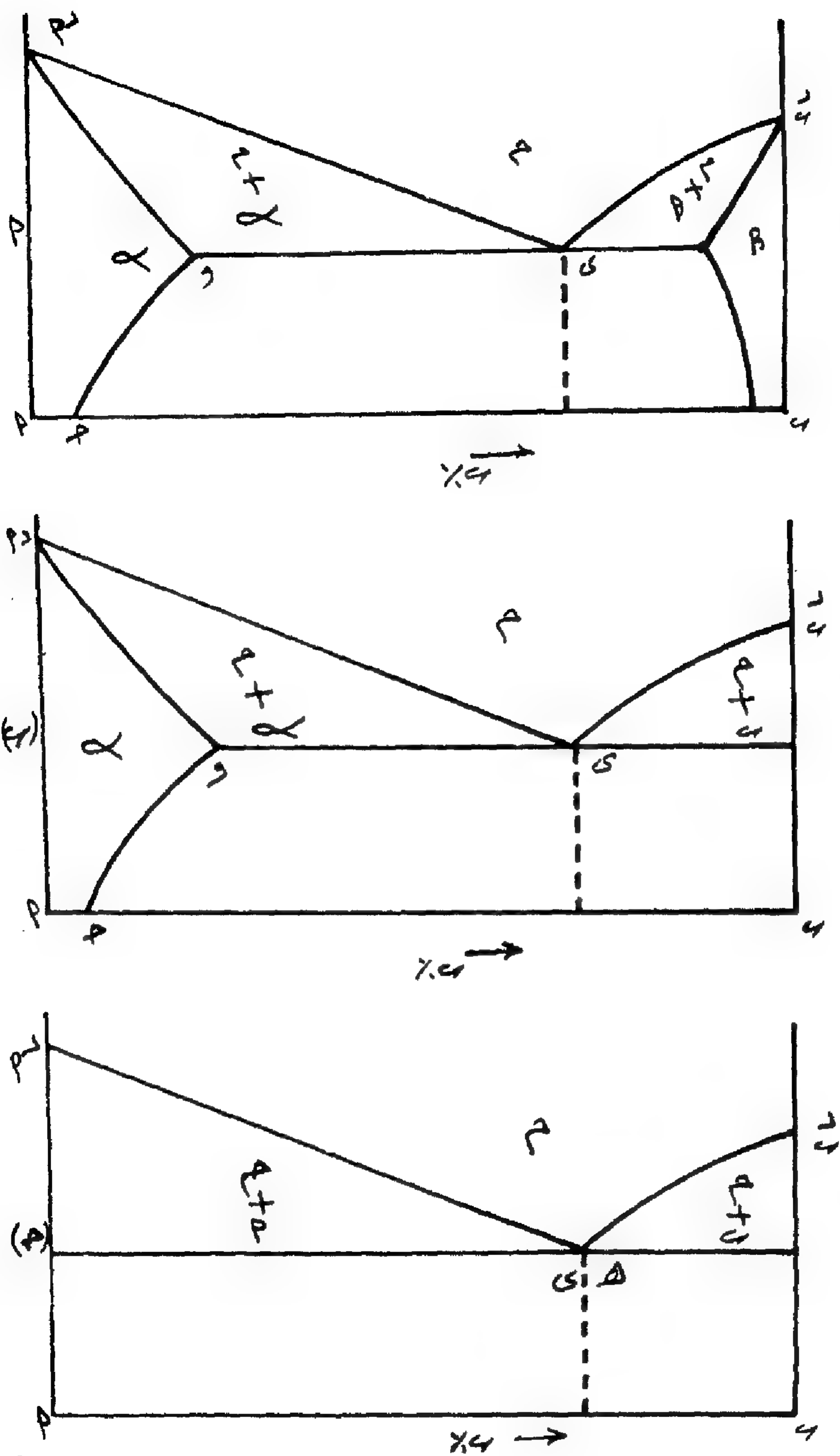
وتضاف العناصر السبكية إلى الألومنيوم ، بهدف إنتاج سبائك تتمتع بخواص يفتقر إليها الألومنيوم الفلزى الذى يتسم بالطراوة والضعف . فيضاف المغنسيوم ، والنحاس ، والمنجنيز ، للحصول على سبائك الألومنيوم التى تشغل بواسطة الضغط أو الكبس ، حيث تؤدي تلك العناصر إلى تحسين الخواص الميكانيكية لهذه السبائك .

ويمكن بإضافة نسب قليلة من النحاس ، والمغنسيوم ، والمنجنيز ، الحصول على تشكيلة من سبائك الألومنيوم تعرف باسم « ديورالومين » تضارع في متانتها بعد تصليدها إزمانيا (أى تركها لوقت كاف حتى تتصلد) فولاذ الإنشاءات الكربونى .

ويضاف السيليكون بكميات كبيرة في سبائك الألومنيوم المخصصة لصناعة المسبوكات ، حتى يكسبها سيولة عالية وهى منصهرة ، ويقلل من كمية الانكماش الحجمى للسبيكة في أثناء تجمدها . ولكن الخواص الميكانيكية لهذه السبائك أقل جودة من السبائك التى تشكل بواسطة الضغط .

وإضافة الحديد تزيد من متانة الألومنيوم إلى حد ما ، ولكن في الوقت نفسه ، تقل مطيليته ومقاومته للصدأ . ويعتبر الحديد من أضر الشوائب بالألومنيوم ، إذ يتكون المركب « ألومينات الحديد » الذى يقلل إلى حد بعيد من قابلية الألومنيوم للتشكيل بالطرق المختلفة .

وتستطيع سبائك الألومنيوم أن تتحمل بسهولة تأثير القوى التى تؤثر عليها على شكل صدمات إذ تمتص هذه السبائك كمية من طاقة الصدمة تفوق تلك التى يمتصها الصلب ثلاث مرات . وعموما ، يمكن القول بأن تسبك الألومنيوم في مجموعة ثنائية مع عنصر آخر ، يمكن أن يتبع منحنى التوازن التالى (الشكل ٨٠ أ) على نحو أو آخر . وقد يتحور هذا المنحنى فيقلص قليلا ليختن الصنف β فيصبح منحنى التوازن كما في الشكل (٨٠ ب) فإذا اختن الصنف α اتخذ منحنى التوازن هيئة مبسطة ، كما في الشكل (٨٠ ج)



شكل (٨٠) الصورة العامة لمنحنيات الاتزان لتسايك الألومنيوم مع غيره من العناصر
 م : مصهور

وتهمنا في دراسة هذه المنحنيات الأجزاء المتطرفة إلى أقصى اليسار ، حيث تحتوي الشبكة على الأقل على ٩٠٪ من الألومنيوم (الرقم ٩٠ اختياري ، حيث أن حدود نسبة الألومنيوم في سبائكها هي ٩٠ - ٩٩,٩٩٪) .

وبالرجوع إلى الشكل العام لمنحنى التوازن ، الشكل (٨٠) ، يمكن تقسيم سبائك الألومنيوم إلى قسمين :

١ - سبائك سبكية : وهي التي تقع على يمين الخط ج و . ولهذه السبائك ، وبالأخص القريب منها من نقطة اليوتكتي ، خواص سبكية جيدة .

٢ - سبائك تشكيلية : وهي التي تقع على يسار الخط ج و . ويؤدي تسخين هذه السبائك إلى درجة حرارة أعلى من درجة حرارة اليوتكتي التي تناظر النقطة ي ، إلى تذاب الأصفاء الفائضة ، فتصبح السبائك وحيدة الصنف وتكون لها قابلية عالية للتشكيل بالكبس .

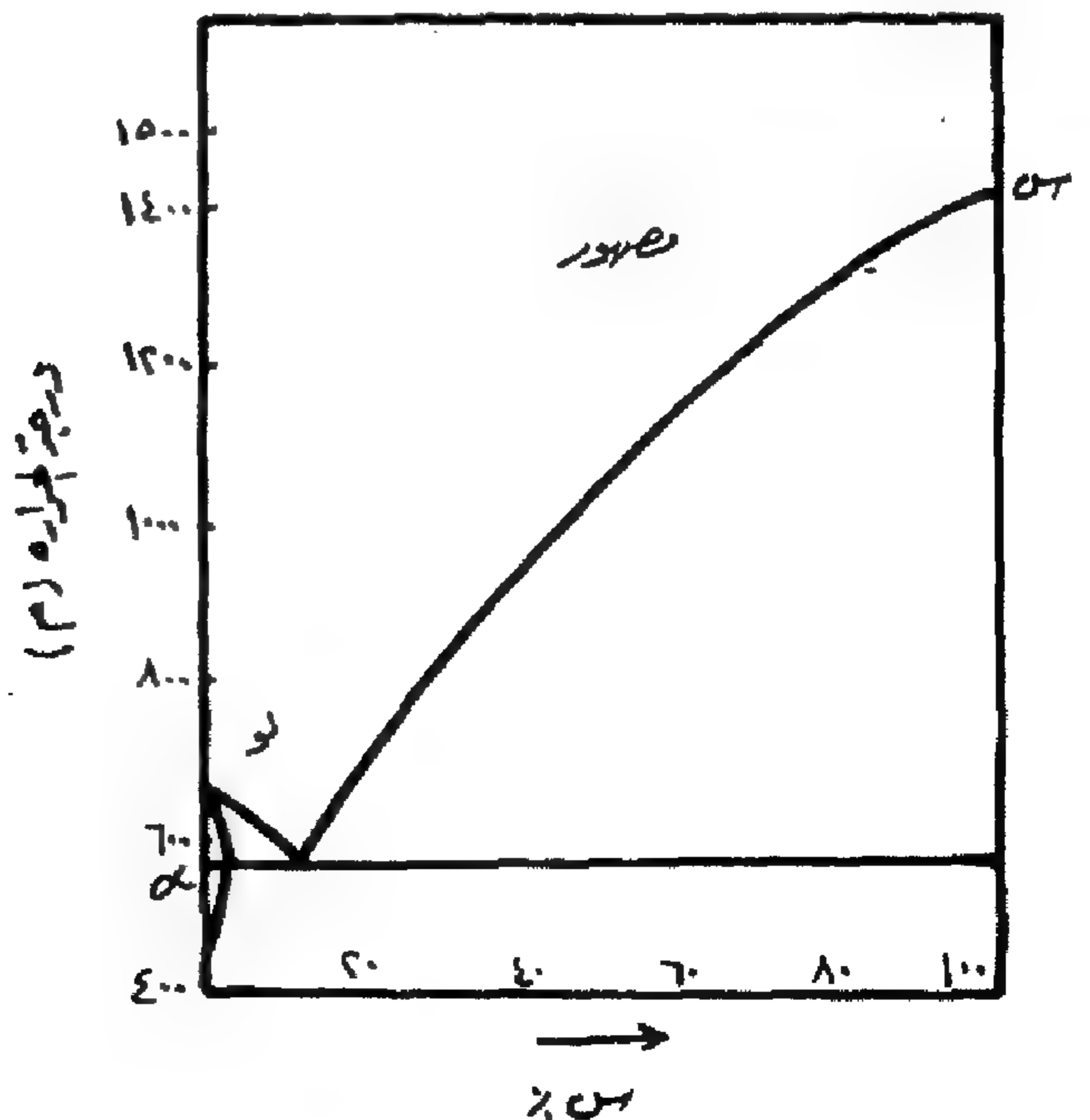
وتنقسم السبائك التشكيلية بدورها إلى نوعين :

(أ) نوع قابل لزيادة مقاومته بمعاملته حرارياً ، وهي السبائك التي يقع تركيبها الكيميائي بين النقطتين و ، هـ .

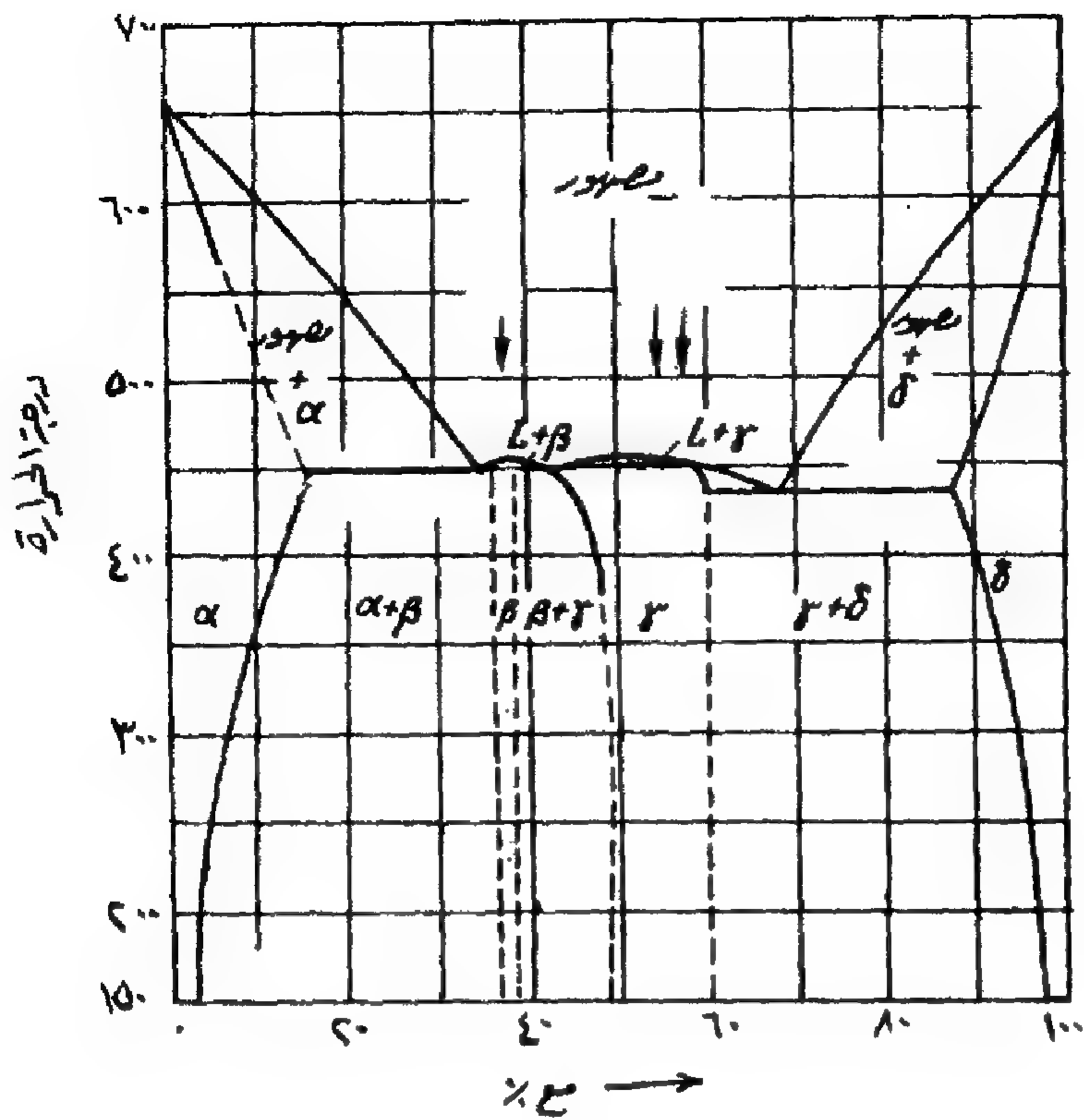
(ب) نوع غير قابل لزيادة مقاومته بمعاملته حرارياً ، وهي السبائك التي يقع تركيبها الكيميائي على يسار النقطة هـ .

ومن المفيد الإلمام بمسلك الألومنيوم في سبائكها ، مع بعض العناصر السبكية المتداولة والتي تكون مجموعة ثنائية .

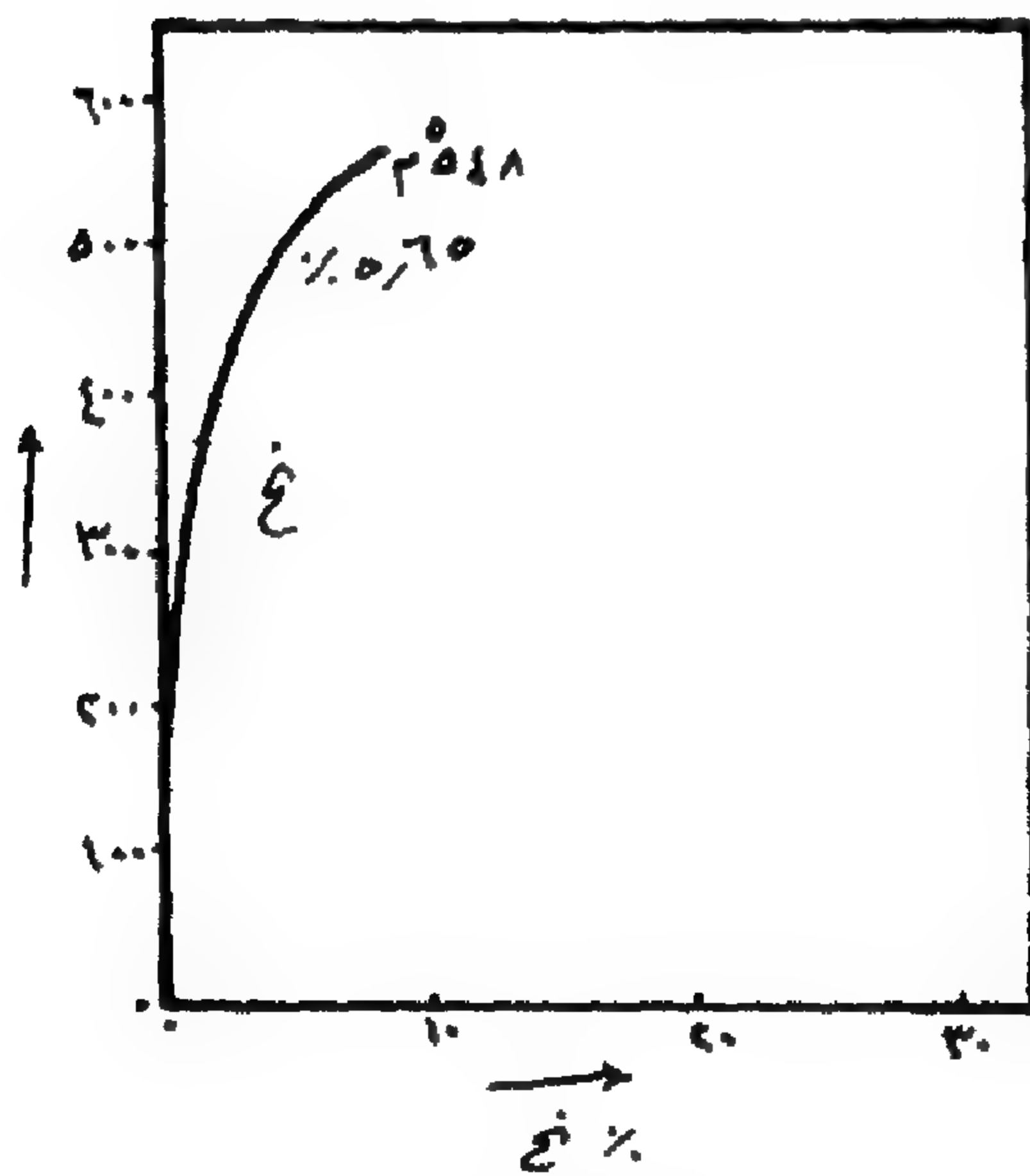
تبين الأشكال (٨١) و (٨٢) و (٨٣) منحنيات الاتزان لسبائك الألومنيوم مع العناصر الآتية : السليكون ، المغنسيوم ، النحاس .



شكل (٨١)
منحنى الاتزان
ألومنيوم - سيليكون



شكل (٨٢)
منحنى الاتزان : ألومنيوم - مغنسيوم



شكل (٨٣)
منحنى الاتزان : ألومنيوم - نحاس

ميتالورجيا المعاملة الحرارية لسبائك الألومنيوم :

الميتالورجيا بمضمونها العلمى ، موضوع متخصص إلى حد بعيد ، إذ أن التركيب البلورى للمعدن يحتاج إلى دراسة متعمقة واستيعاب كامل . ومع ذلك نقدم فيما يلى بعض اعتبارات أساسية تمكن من تفهم واستيعاب هذا الموضوع الهام .

تحتوى سبيكة الألومنيوم المنصهرة على عدة عناصر مختلفة قد يبلغ عددها عشرين ، بعض منها يتزاوب تزاوبا تاما ، وبعضها الآخر لا يتزاوب بل يوجد مختلطا فقط . وعليه فإنه إذا سمح للسبيكة المنصهرة أن تبرد ، فإنها تصل إلى نقطة تبدأ عندها فى التجمد . وعند هذه النقطة تبدأ بعض البلورات فى التكون وتكون بمثابة نوى للبلورات التالية . ومع مواصلة التبريد ، يتكون المزيد من البلورات على البلورات الأولى ، وهذه البلورات تبدأ فى تكوين حبيبات بلورية .

بالإضافة إلى ذلك ، تتكون بعض المركبات الكيميائية من اتحاد الفلزات بعضها مع بعض . وقد تتجمد هذه المركبات بصورة منفصلة مترسبة ، إما بين الحبيبات خلال الحدود الفاصلة بينها ، وإما داخل الحبيبات ذاتها فيما بين البلورات . كذلك قد تنفصل عناصر أخرى بعينها خلال عملية التبريد إلى درجة حرارة الجو المعتاد (درجة حرارة الغرفة) . ومن الواضح أنه نتيجة لذلك ، نحصل على تركيب معقد للغاية .

التصلد نتيجة للتشغيل :

كما سبق ، وبالتفاضى عن تلك الحسيمات الإضافية المترسبة ، يمكن اعتبار أن سبائك الألومنيوم تتكون بصفة عامة من حبيبات ، وهذه بدورها تتألف من بلورات . ويمكن للحبيبات المتجاورة أن تنزلق وتنساب بالنسبة لبعضها بعضا فى شتى الاتجاهات المختلفة . ومن ثم يمكن القول بأن لهذه الحبيبات « مستويات انزلاق » مختلفة ومتعددة .

ويوصف الفلز بأنه « طرى » إذا كان لبلورته مجموعة كاملة من مستويات الانزلاق لم يستغل منها مستوى قط ، أى لم يستنفده المعدن نتيجة لعدم حدوث انزلاق .

قلنا « لم يستغل منها مستوى قط » ، إذ أنه بتسليط قوة ميكانيكية صغيرة ، فإن هذه الحبيبات سوف تنزلق خلال أحد مستويات الانزلاق لمقدار معين . وعند تعرض فلز طرى للطرق أو الشد ، أو إذا تغيرت أبعاده ميكانيكيا بطريقة أو بأخرى ، بواسطة قوة عند درجة حرارة الغرفة ، فإن البلورات المتجاورة سوف تتحرك خلال أحد مستويات الانزلاق . ولكن بسبب حدوث الانزلاق خلال أحد المستويات بمقدار معين ، فإنه سرعان ما تبلغ الحركة مداها خلال هذا المستوى . ومن ثم كان تسليط مزيد من الشغل أمرا ضروريا ، حتى يمكن أن يستمر الانزلاق خلال مستويات انزلاق أخرى .

ومع ذلك ، فن المستبعد تماما أن توجد مستويات الانزلاق المتعاقبة في أوضاع موازية ومناسبة بالنسبة لاتجاه القوة المسلطة على المعدن . وعليه فإن النتيجة الحتمية لذلك ، هي أنه بتسليط نفس القوة كما سبق ، يحدث تغير في الشكل أقل كثيرا مما لو كانت مستويات الانزلاق موازية تماما لهذه القوة . ويتعرض الفلز لمزيد من الشغل المبذول ، فإن مقاومة المعدن للتغير في شكله تزداد ، وعندئذ يقال إن المعدن قد تصلد نتيجة لتشغيله .

وهكذا فإنه بتغير شكل المعدن بتشغيله ميكانيكيا ، تستنفد مستويات الانزلاق الواحد تلو الآخر ، ومن ثم يصبح المعدن تدريجيا صلدا ، فأكثر صلادة ، ثم يبدى اعتراضا على تقبل المزيد من الشغل .

من ذلك يمكن استنتاج ، أن المعادن التي لا تتميز بعدد كبير من مستويات الانزلاق ، سرعان ما تصل إلى نقطة يتطلب الأمر عندها تسليط قوة كبيرة لمواصلة تشغيلها ، أو قد ينهار عندها بنيان المعدن إذا ما استنفدت جميع مستويات الانزلاق .

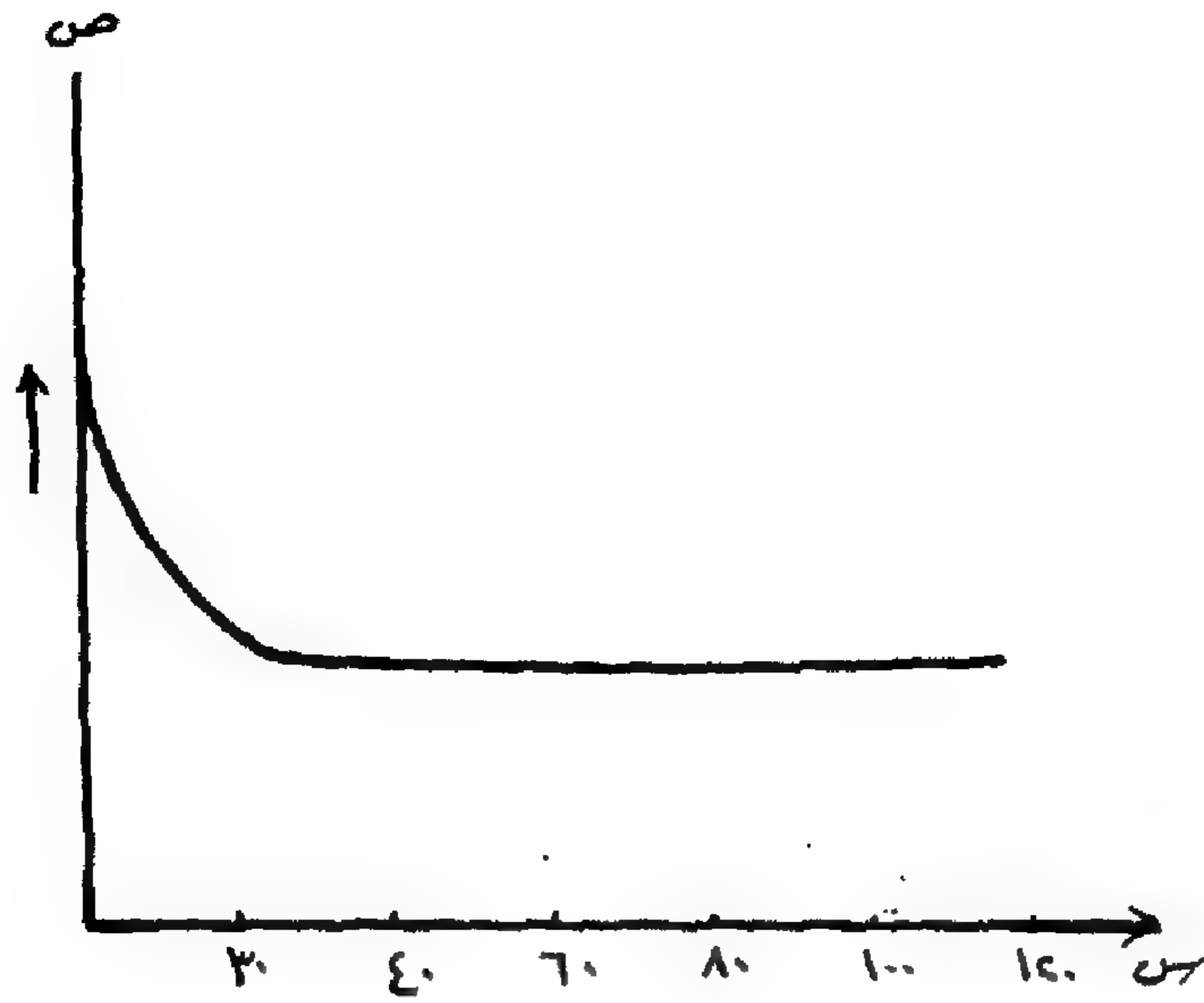
ومن الممكن أن يستعيد المعدن قابليته الأولى للتشغيل ، بنشوء مجموعة جديدة من البلورات ، لها مجموعتها الخاصة من مستويات الانزلاق التي لم تستغل بعد . ويتم ذلك بتسخين المعدن الذي سبق تشغيله (تصلده) إلى درجة حرارة يعيد عندها المعدن تكوين بنيانه البلوري من جديد .

ودرجة الحرارة هذه تسمى « نقطة إعادة التبلور » أو « درجة حرارة إعادة التبلور » . ولكي تستعيد سبائك الألومنيوم بنيانها البلوري من جديد ، يلزم تسخينها إلى درجات حرارة منخفضة نسبيا ، وتقع بين ١٤٨ - ٥٤٠°م . ويمكن التحكم في هذه العملية بسهولة ، كما أنه من الممكن الحصول على نتائج طيبة يمكن التعميل عليها .

فإذا كنا بصدد تشكيل فنجان من الألومنيوم من قرص دائري مسطح من الفلز بواسطة السحب العميق ، فبدلا من محاولة إنتاج الفنجان من القرص المسطح بعملية تشكيل واحدة ، يمكن الحصول على الشكل النهائي على عدة خطوات أو مراحل ، تتخللها عملية تلدين (تخمير) بين كل خطوة والتالية لها ، وذلك لتصحيح وتخفيف الإصلاذ الناشئ ، عن التشغيل . وبهذه الكيفية يمكن المحافظة على كل خطوة في حدود التشغيل العملي للمادة ، فلا يتم سحب القرص إلى ما بعد النقطة التي يؤدي عندها التشغيل ، وما يصاحبه من إصلاذ إلى حدوث شذوخ أو انهيار للمعدن .

من هنا يمكن تفهم السبب في أن عمليات تشكيل سبائك الألومنيوم ، تتضمن خطوات متعاقبة من الضغط أو الكبس ، تتخللها سلسلة من المعاملات الحرارية .

وبين الشكل (٨٤) تأثير زمن التلدين (التخمير) عند ٢٥٠°م على صلادة سبيكة من الألومنيوم (نسبة المغنسيوم بها ٢,٨٧٪) ، فنجد أن الصلادة قد انخفضت انخفاضا حادا في غضون دقائق لا تزيد على العشر ، نتيجة إعادة تبلور هذه السبيكة ، ويبين السهم ظهور أولى حبيبات التبلور التي باكتها ثبت قيمة الصلادة .



شكل (٨٤)

تأثير زمن التلدين « التخمير » عند 250°C ، على صلادة سبيكة الألومنيوم (بها مغنسيوم ٨٧ و ٢٪) :

المحور س : زمن التلدين بالدقيقة المحور ص : الصلادة

دور عنصر الوقت في عمليات المعاملة الحرارية :

من الأهمية بمكان ، تفهم تأثير عنصر الوقت في عمليات المعاملة الحرارية للفلزات . فشلا ، في عملية التلدين (التخمير) السابق وصفها ، إذا لم يراع استبقاء الشغلة فوق درجة حرارة إعادة التبلور فترة مناسبة . فلن تتاح فرصة كافية لكي تنمو بلورات الفلز تماما ، لأن تلك العملية تستغرق بعض الوقت . وفي الواقع ، تتطلب معظم التغيرات التي تنشأ داخل بنية الفلز فترة زمنية معينة . ويلزم أيضا بعض الوقت لكي تتخلل الحرارة تماما خلال جميع أجزاء الشغلة المعدنية التي تجرى معاملتها حراريا . وهذا أمر ضروري حتى يكون هناك ارتفاع كاف في درجة الحرارة في سائر القطاعات تجنباً للاختلاف في التركيب الميتالورجي المطلوب . ويجب أن ندرك أنه إذا ما أردنا رفع درجة حرارة قلب الشغلة رفعا سريعا بوضعها في فرن درجة حرارته عالية ، فإن ذلك يؤدي حتماً إلى رفع درجة حرارة الشغلة عند سطحها وأركانها إلى حد التسخين المفرط الذي قد يؤدي إلى حرقها وإتلاف خواصها .

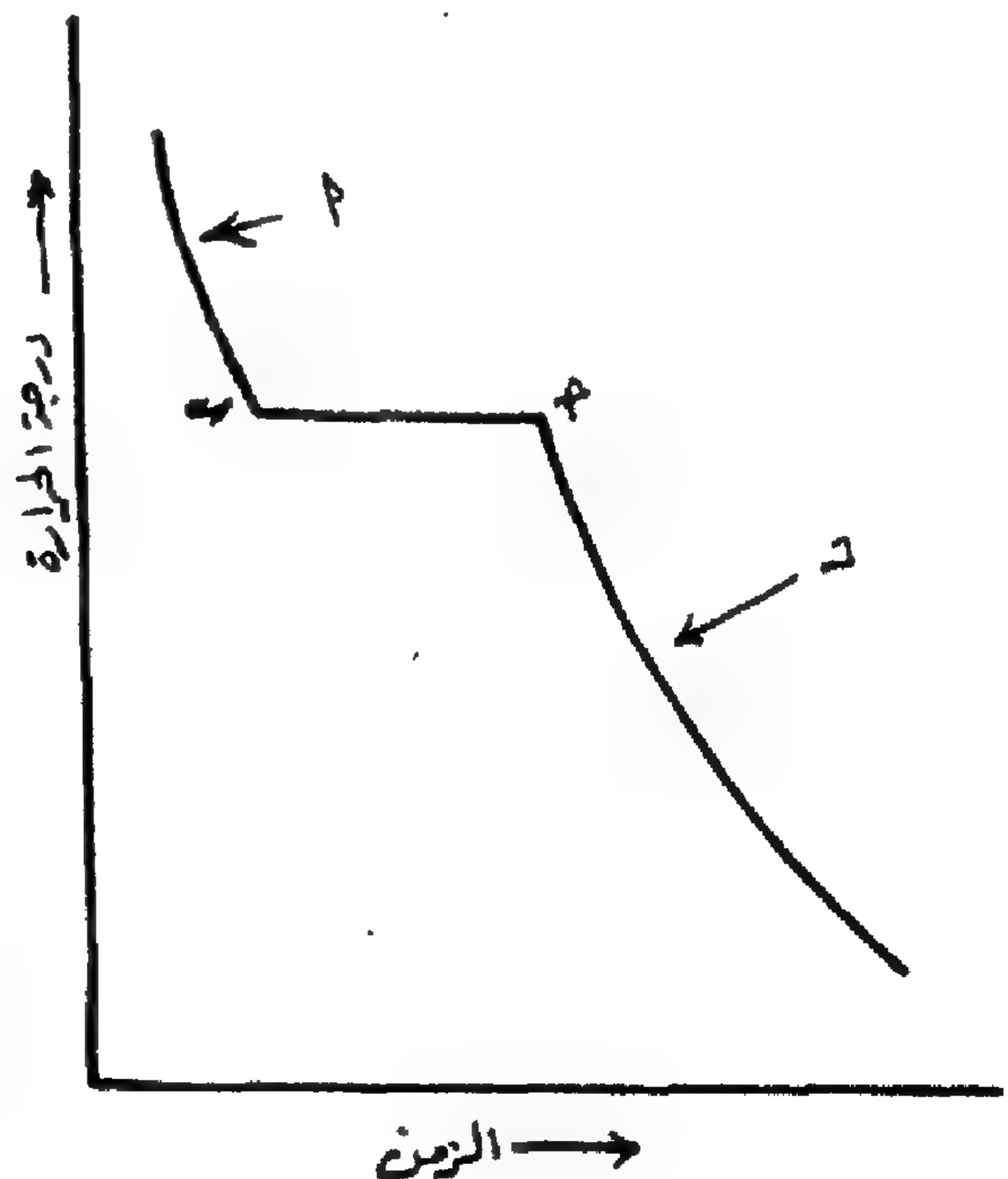
ولكل هذه الأسباب ، في أية معاملة حرارية ، يجب أن تترك الشغلة وقتا كافيا عند درجة الحرارة المطلوبة .

ولعنصر الوقت أهمية أخرى في عمليات المعاملة الحرارية ، إذ أن هناك عمليات ميتالورجية أخرى تتطلب بعض الوقت لكي تتم على الوجه الأمثل ، مثل عملية الانتشار في الحالة الصلبة ، وغيرها من عمليات المعاملات الحرارية .

ومجدد بنا قبل الدخول في تفاصيل المعاملة الحرارية ، والتركييب البنائي لسبائك الألومنيوم ، أن نبدأ بالفلز في حالته النقية ، توخيا للسهولة ، لنرى كيف يؤثر عامل الوقت على التركيب البنائي للفلز .

يبين الشكل (٨٥) العلاقة بين الوقت ودرجة الحرارة للفلز النقي عندما يترك ليتجمد من حالة الانصهار (النقطة أ) .

بانخفاض درجة الحرارة ، تصل إلى درجة الحرارة (ب) حيث يبدأ الفلز في التجمد (درجة تجمد الألومنيوم النقي 908°C) . وتظل درجة حرارة المصهور الذي بدأت تتكون خلاله البلورات الأولى من الفلز النقي ثابتة بعض الوقت ، إلى أن يتم تجمد المصهور كلية ، ويرجع ذلك إلى انبعاث أو اعتاق كمية من الحرارة تسمى « الحرارة الكامنة » ، وهي تعادل كمية الحرارة المفقودة نتيجة التبريد . ومن ثم يأخذ المنحنى اتجاها أفقيا حتى النقطة (ج) التي تتجمد عندها آخر نقطة في المصهور .

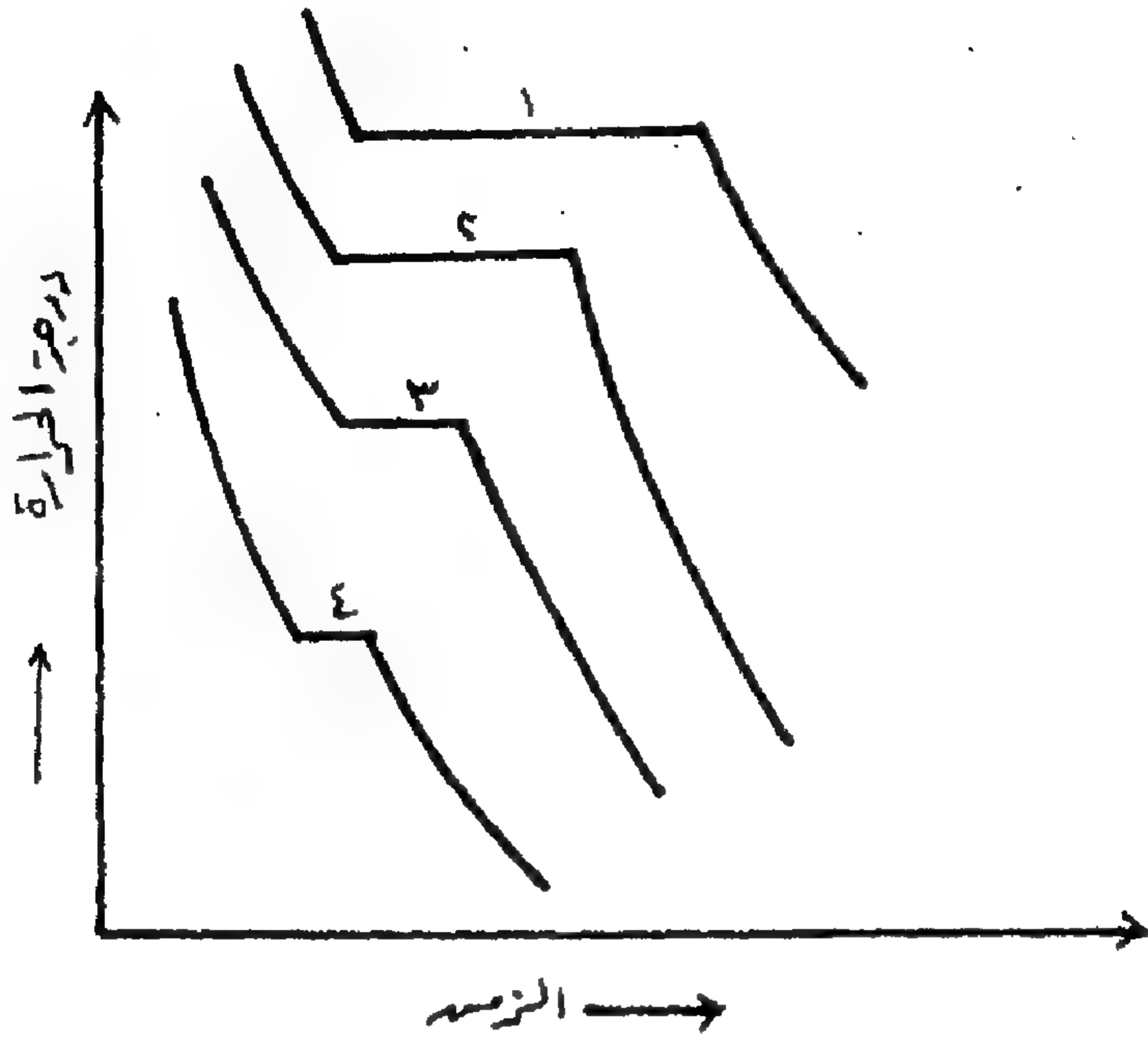


شكل (٨٥)

تجمد الفلز النقي : العلاقة بين الزمن ودرجة الحرارة

وبعد أن يتجمد المصهور كلية ، تأخذ درجة حرارته في الانخفاض تدريجيا نتيجة للتبريد . وتمثل هذه المرحلة بميل الخط البياني (د) ..

ويجب ألا يغيب عن الذهن ، أن ذلك المسلك هو مسلك الفلز النقي فقط ، ولكل فلز
نقى منحنى خاص به ، وله نقطة ثابتة وتختلف من فلز لآخر ، بمعنى أن الجزء الأفقى من
المنحنى يتغير صعودا أو هبوطا على المحور الرأسى ، تبعا لدرجة حرارة انصهار الفلز .
الشكل (٨٦) .



شكل (٨٦) منحنيات التبريد للفلزات النقية :

١، ٢، ٣، ٤ فلزات مختلفة

ولدراسة مسلك الفلز عند تبريد مصهوره عندما لا يكون نقياً ، أى عندما يكون متسابكاً
مع غيره من العناصر مكوناً سبيكة ، فإننا سنختار هنا أبسط أنواع السبائك ، وهى السبيكة
التي تحتوى على عنصرين فقط ، مكونة مجموعة ثنائية .

سبق أن ذكرنا أن الألومنيوم يتسبك مع غيره من العناصر ، فهو يتزاوب مع النحاس ،
والمغنسيوم ، والسليكون ، وغيرها . وللتيسير ، نأخذ المجموعة الثنائية (ألومنيوم - نحاس)
كثال للسبيكة البسيطة . يصهر الألومنيوم مع النحاس نجد أنهما يكونان مصهوراً متجانساً تام
التزاوب ، وبترك هذا المصهور ليبرد نجد أنه يسلك مسلكاً مختلفاً تماماً عن مسلك الفلز
النقى ، ويرجع ذلك إلى وجود « نطاق للتجمد » بدلا من « نقطة التجمد » ، حيث تبدأ
السبيكة فى التجمد عند درجة حرارة معينة وتستمر فى التجمد ، بينما تأخذ درجة الحرارة فى
الانخفاض أيضا حتى قبل تجمد المصهور نهائيا ، ويبين هذا الجزء من المنحنى بالجزء المنقط هـ و ،
ويستمر المنحنى إلى النقطة « د » .

التجمد التباينى :

إذا رجعنا إلى منحنى التبريد فى الشكل الأسبق للفلزيين الألومنيوم والنحاس ، نجد أنه ما إن تبدأ السبيكة فى التجمد ، حتى تنشأ بلورات تتكون كلية من الألومنيوم النقي . وبانخفاض درجة الحرارة ، تبدأ فى الظهور بلورات بنسب محسوسة من النحاس . وباستمرار التبريد تتكون بلورات تحتوى على نسب متزايدة من النحاس . فعند النقطة ه ، تتجمد جسيمات سبيكية قد يكون تكوينها الكيميائى ٩٩,٩٪ من الألومنيوم ، ٠,١٪ من النحاس . ولكن تحت النقطة ه مباشرة قد يكون التركيب الكيميائى للجسيمات التى تتجمد خلال المصهور ٩٩٪ من الألومنيوم ، ١٪ من النحاس ، وبالمثل فإن جسيمات تحتوى على ٩٨٪ من الألومنيوم ، ٢٪ من النحاس سوف تتجمد عند درجة حرارة أقل .

وهكذا فإنه بانخفاض درجة الحرارة ، فإن البلورات التى تتكون خلال المصهور عند أية لحظة تكون مدسرة لسبيكة الألومنيوم والنحاس التى تتجمد عند تلك الدرجة من الحرارة بعينها .

وبعبور المنحنى للجزء و ، تحتوى جسيمات السبيكة التى تتجمد خلال المصهور على نسبة متزايدة باستمرار من النحاس . وعندى تتكون البلورات الأخيرة من المصهور ، وبذلك يكون كل المصهور قد تجمد نهائيا ، وتنخفض درجة الحرارة خلال منحنى مماثل للسابق . وعندما يحتوى المعدن المنصهر على أكثر من عنصرين ، فإن هذا المنحنى يتغير كثيرا ، وتصبح عملية التجمد نفسها أكثر تعقيدا .

ومن الواضح أنه بالنسبة لسبيكة ألومنيوم فعلية ، وهى تحتوى عادة على عناصر مختلفة يتراوح عددها بين ستة وعشر عناصر ، فإن مسلك هذه السبيكة سوف يكون بعيدا كل البعد عن البساطة ، خاصة وأن كثيرا من العناصر المختلفة فى السبيكة ستكون بدورها مخاليط مختلفة ، أو مركبات تتباين فى سلوكها ، مما يؤدي إلى تعقيد الموقف .

الترسيب :

الترسيب هو أحد التعقيدات التى تنتج من جراء وجود العديد من العناصر المختلفة فى سبيكة الألومنيوم ، حيث تؤدي عدة عناصر إلى تكوين مخاليط أو مركبات تتجمد أو تنفصل عن المصهور على هيئة دقائق صغيرة مستقلة قبل - أو حتى بعد - تجمد معظم المواد الأخرى .

هذه الجسيمات قد تكون من الصغر بحيث يمكنها أن ترسب وتكن بين الأسطح الفاصلة للبلورات المتجاورة . ويكون ترسبها بكيفية تعمل على « تثبيت » البلورات ، عن طريق إعاقتها عن الانزلاق بعضها على بعض . ومن ثم تزداد مقاومة السبيكة للتشغيل الميكانيكى ،

وهذا بدوره قد يكسب السبيكة صلادة وقصافة ، كما يفقدها في الوقت نفسه بعضا من الخواص الميكانيكية الأخرى كالمطيلية . وعلى حسب الظروف ، فقد تكون النتيجة مطلوبة أو غير مرغوب فيها .

وعندما يصبح انزلاق البلورات بعضها على بعض صعبا ، فإن الفلز يبدو وكأن لديه عددا أقل من مستويات الانزلاق . ومن ثم يصبح صلدا يقاوم التشغيل الميكانيكي . كما يصبح أكثر متانة . لذلك فقد تكون النتيجة النهائية ، تحسن الخواص الميكانيكية للفلز كثيرا . وكما سترى فيما بعد ، فإن هذا هو الغرض من المعاملات الحرارية المختلفة .

ويجب أن يوضع في الاعتبار أنه إلى جانب ترسب الجسيمات الصلبة (الجامدة) من المصهور يحدث أيضا ترسب للجسيمات الصلبة من أوساط جامدة . فكما يستطيع فلز جامد أن ينتشر خلال فلز جامد آخر (أنظر : التجنيس) ، فإنه يمكن للعنصر الجامد أن يترسب من وسط جامد .

الإنعزالية :

عندما يسمح لسبائك الألومنيوم المنصهرة بالتبريد ، بعد صبها في قوالب ، حتى تتجمد إلى كتل (مصبوبات) ، فإنه من الطبيعي أن تبرد أسطح الكتلة الملامسة للقالب بسرعة أكبر من باقى الكتلة . لذلك فإن البلورات الأولى تتكون على أسطح الكتلة التي تلامس جدران القالب . وباستمرار انخفاض درجة الحرارة وتكون البلورات تباعا ، تنشأ البلورات الجديدة على البلورات الأولى ، مكونة حبيبات تنمو في اتجاه مركز الكتلة ، وعموديا على جدران القالب . وفي الوقت الذي تنمو فيه الحبيبات إلى الداخل نتيجة لفقد الحرارة خلال جدران القالب ، يظل قلب الكتلة منصهرا لارتفاع درجة حرارته .

وكما رأينا في البند السابق ، فإن بعض مكونات المعدن المنصهر تترسب أو تنفصل عن المصهور ، كلما انخفضت درجة الحرارة . وفي حالتنا هذه ، فإنه نتيجة لعدم تساوى درجات الحرارة خلال كل أرجاء الكتلة ، يحدث الترسيب بكيفية غير متساوية . وهذا يؤدي بدوره إلى عدم انتظام توزيع المترسب (المواد المنفصلة) .

ولما كان لهذه الرواسب (المترسبات) تأثير خاص - مرغوب فيه - على خواص الفلز ، فن الضروري أن يكون توزيعها منتظما خلال كل الفلز المتجمد . ويتم ذلك ميكانيكيا بالتشغيل ، أو بما يعرف في المعاملة الحرارية باسم « التجنيس » .

التجنيس :

بالرجوع إلى منحنى تجمد سبيكة الألومنيوم والنحاس ، نجد أن البلورات التي كانت سبابة إلى الترسيب في أول الأمر ، كانت مكونة من الألومنيوم النقي ، تلتها بلورات ترسبت

محتوية على نحاس بنسب تتزايد بانخفاض درجة الحرارة . ومن ثم فإن الحبيبات البلورية المتكونة تحتوى على تركيب بنيانى ، يختلف تركيبه الكيميائى من القلب إلى الخارج ، وهذا التركيب البنيانى غير مرغوب فيه ، لتباين خواصه من الداخل إلى الخارج . وعليه ، فن اللازم تغير هذا التركيب البنيانى إلى تركيب بنيانى آخر ، يودى إلى تحسين الخواص الميكانيكية للسيكة .

ولكى يتم ذلك ، فإننا نلجأ إلى ظاهرة « الانتشار فى الوسط الجامد » وهو مصطلح يطلق للدلالة على انتشار أو ذوبان فلز فى آخر كلاًهما فى الحالة الصلبة . ولكى ينتشر النحاس فى سيكة الألومنيوم بمعدل أكبر ، يجرى تحفيز ذرات النحاس ، برفع درجة حرارة السيكة إلى ما دون درجة حرارة الانصهار بقليل ، ثم تتبع بعملية تبريد بطى* ، وهذه العملية تسمى « التجنيس » .

وتتراوح درجة الحرارة المناسبة لمعظم سبائك الألومنيوم بين ٤٨٠ - ٥٥٤٠°م . وبهذه الوسيلة يمكن التغلب على ما تبديه بعض المكونات من نزعة للانفصال أو إحداث انزالية فى بنيتها على هيئة مساحات رقيقة وكثيفة فى الوقت نفسه .

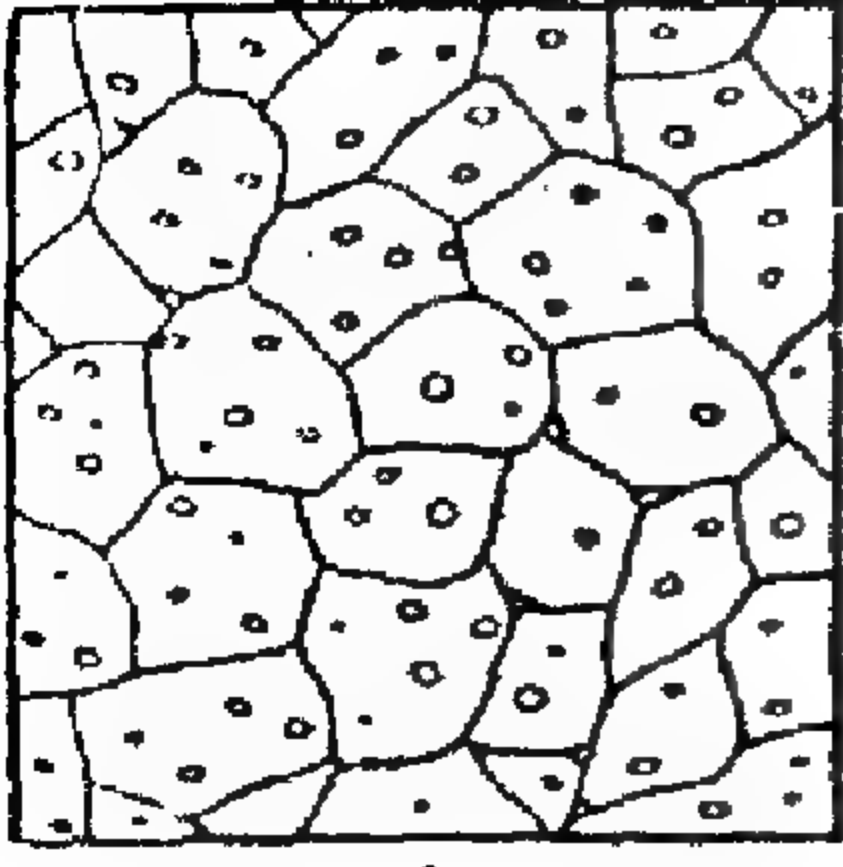
إذن فالتجنيس عملية تساعد على إحداث توزيع منتظم للعناصر السبيكية وغيرها من المكونات الأخرى ، ومن ثم تساعد فى الحصول على تركيب بنيانى متجانس مطلوب .

تقوية سبائك الألومنيوم بواسطة المعاملة الحرارية :

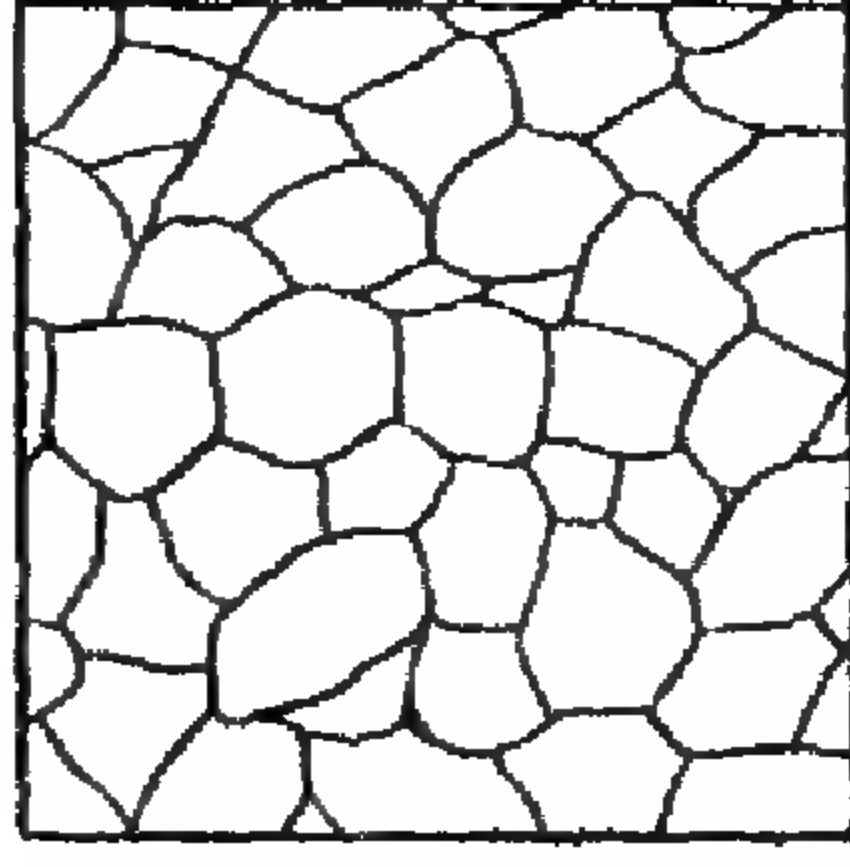
يمكن تقوية سبائك* الألومنيوم بترسيب بعض مكوناتها داخل الحبيبات البلورية خلال الحدود الفاصلة فيما بين البلورات ، أو فى مستويات الانزلاق بين البلورات ، بكيفية تعمل على إعاقه وعرقلة الانزلاق ، ومن ثم تصبح السيكة أصلد وأقوى من ذى قبل . ويبين الشكل (٨٧) رسماً توضيحياً لخطوات ترسيب المكونات خلال الحدود الفاصلة بين البلورات أثناء معاملتها حرارياً بهدف تقويتها .

ويمكن أيضاً زيادة المقاومة للانزلاق ، بالتحكم فى الأصناف المترسبة بين البلورات ، بحيث تبدو معه كحبيبات خشنة جداً . ومن الواضح أن المادة التى تعمل على مساعدة الحركة الحرة للبلورة بالنسبة لغيرها من البلورات ، سوف تنتج عنها سيكة طرية وضعيفة ، بينما المادة التى تعرقل الحركة الحرة للبلورات ، تؤدى إلى أن تكون السيكة أصلد وأقوى .

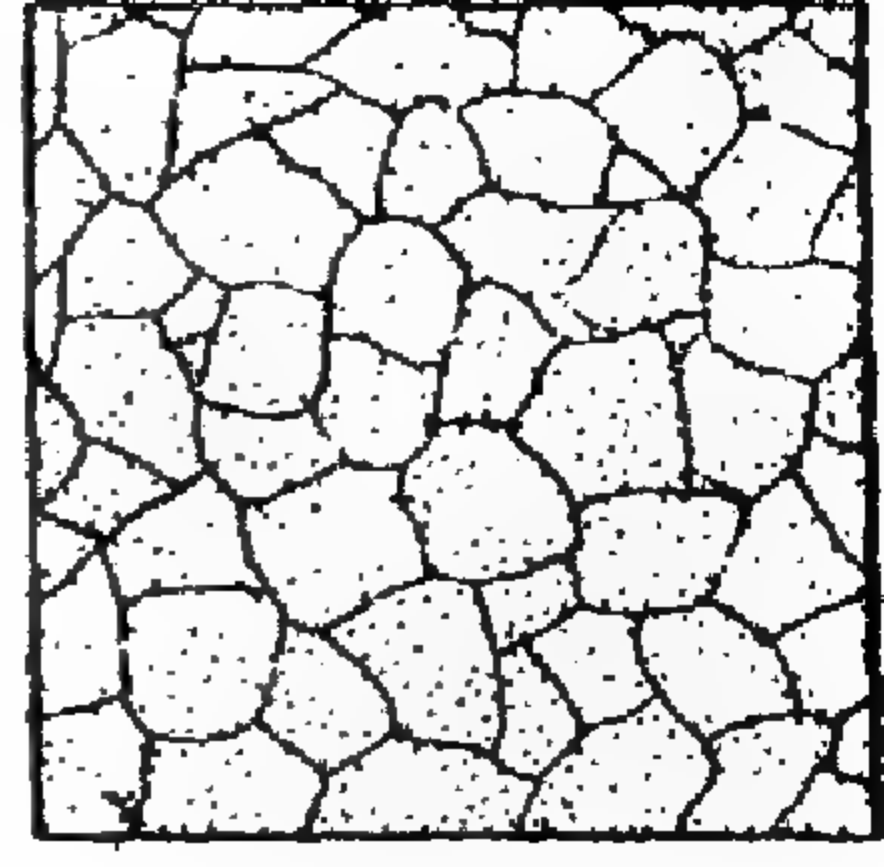
(*) قد يستخدم المصطلح التقسية أو التصليد بدلاً عن « التقوية » ولكنها جميعاً فى النهاية تؤدى الى نفس المعنى ، وهو الحصول على سيكة قوية ومقينة بواسطة المعاملة الحرارية .



أ



ب



ج

شكل (٨٧)

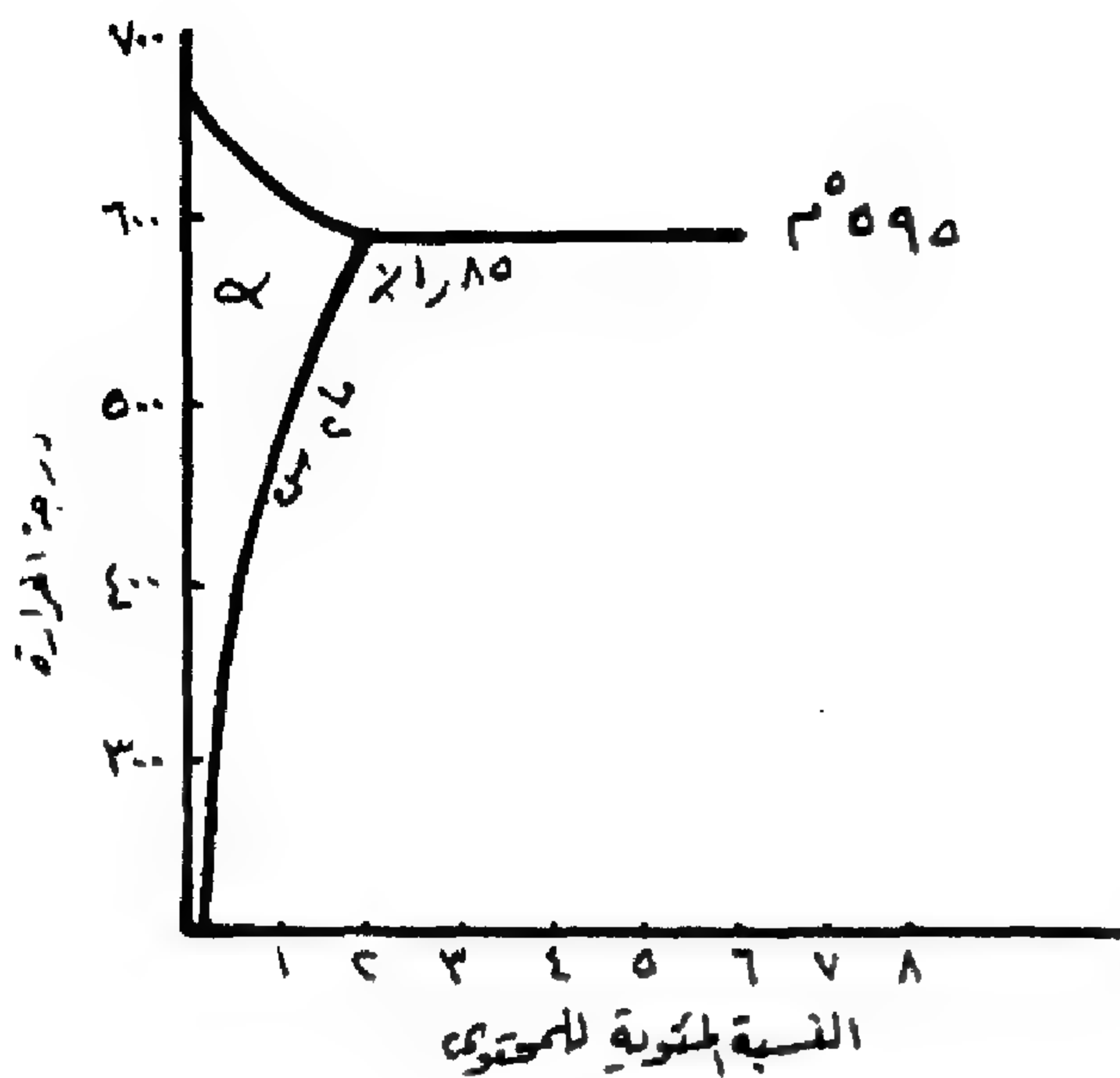
رسم توضيحي يبين التغير في التركيب البنياني لإحدى سبائك الألومنيوم التي جرى تقويتها بالمعاملة الحرارية

ومن البديهي أن تحتوى السبائك التي تستجيب للمعاملة الحرارية ، أى تكتسب متانة ملحوظة بمعاملتها حرارياً ، على أصناف (أطوار) تنقسم بذائبية كبيرة مع الألومنيوم في حالة الصلابة عند درجات الحرارة المرتفعة ، بينما تقل هذه الذائبية تبعاً بانخفاض درجة الحرارة ، حتى تكاد تنعدم أو تبدو عديمة التذبذب عند درجة حرارة الغرفة . وفي الرسم البياني لمنحنيات الاتزان ، يرمز إلى هذه الأصناف بالرمز α فإذا ما خلا منحنى الاتزان من مثل هذه الأصناف ، انعدمت استجابة السبيكة للمعاملة الحرارية .

ويمكن الاسترشاد بالأشكال (٨٨ أ ، ب ، ج ، د) حتى يمكن تفهم العملية بسهولة .

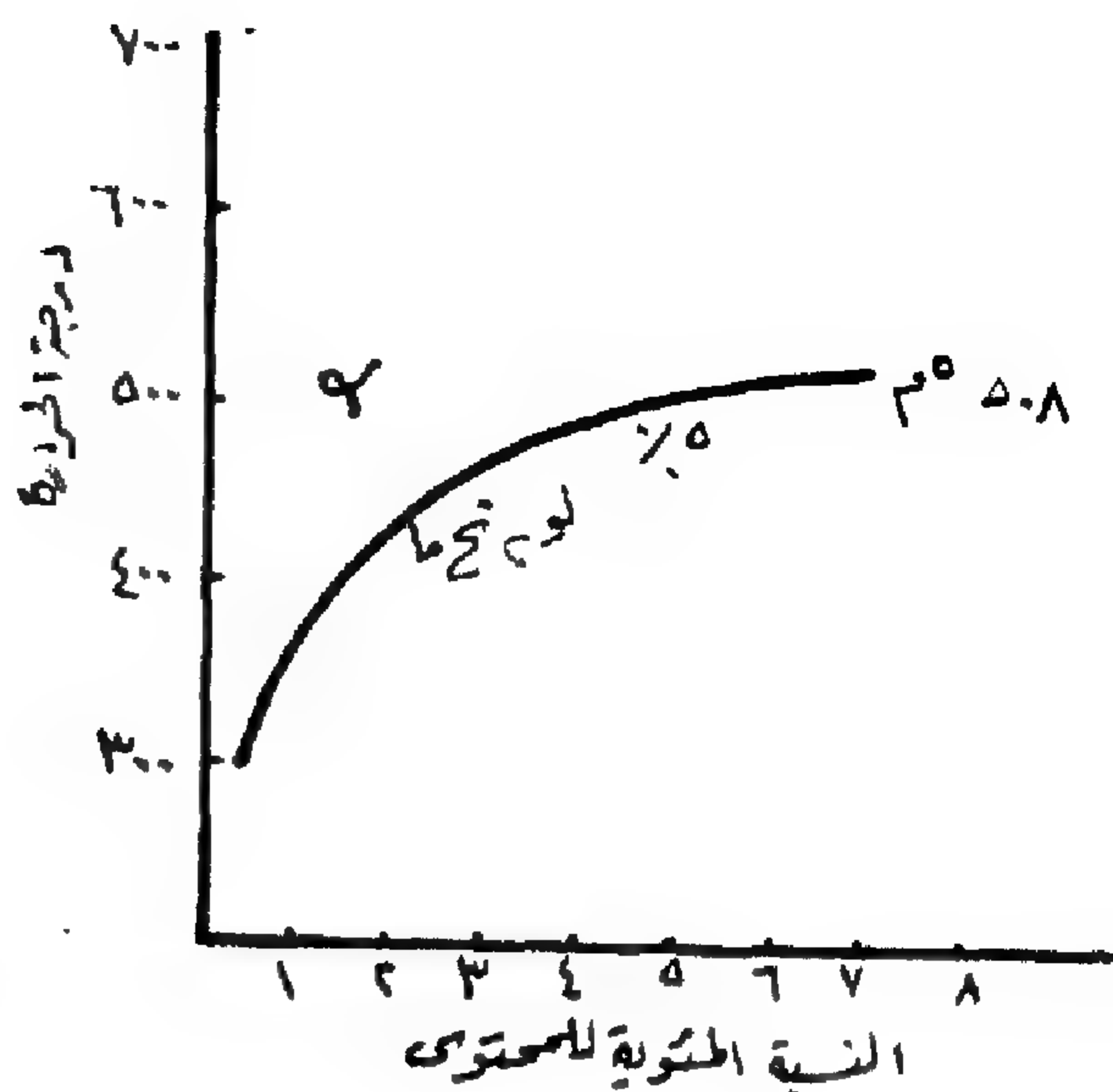
وتبين الجداول بالملحق رقم (٥) تفاصيل الوقت النمطي ودرجة الحرارة اللازمين للتحكم وضبط كلا العاملين السابقين . وبالطبع تحتاج السبائك المختلفة للألومنيوم ، إلى معاملات حرارية ذوات اختلافات طفيفة فيما بينها ، نتيجة للتأثيرات التراكمية للعناصر السبكية المختلفة والمتعددة .

لندرس الآن منحنى التوازن للمجموعة الثنائية (ألومنيوم - نحاس) لتفهم أهمية درجات الحرارة هذه ، وضرورة ظاهرة التصليد (أو الإصلاد) بالعتيق إزمانيا ، سواء كانت طبيعية أو اصطناعية ، للحصول على المتانة المثل لسبائك الألومنيوم .



شكل (٨٨ ب)

رسم بياني لتوازن سبيكة الألومنيوم - نحاس - ماغنسيوم والتي تعطى زيادة كبيرة في المتانة بعد تصليدها وتعتيقها

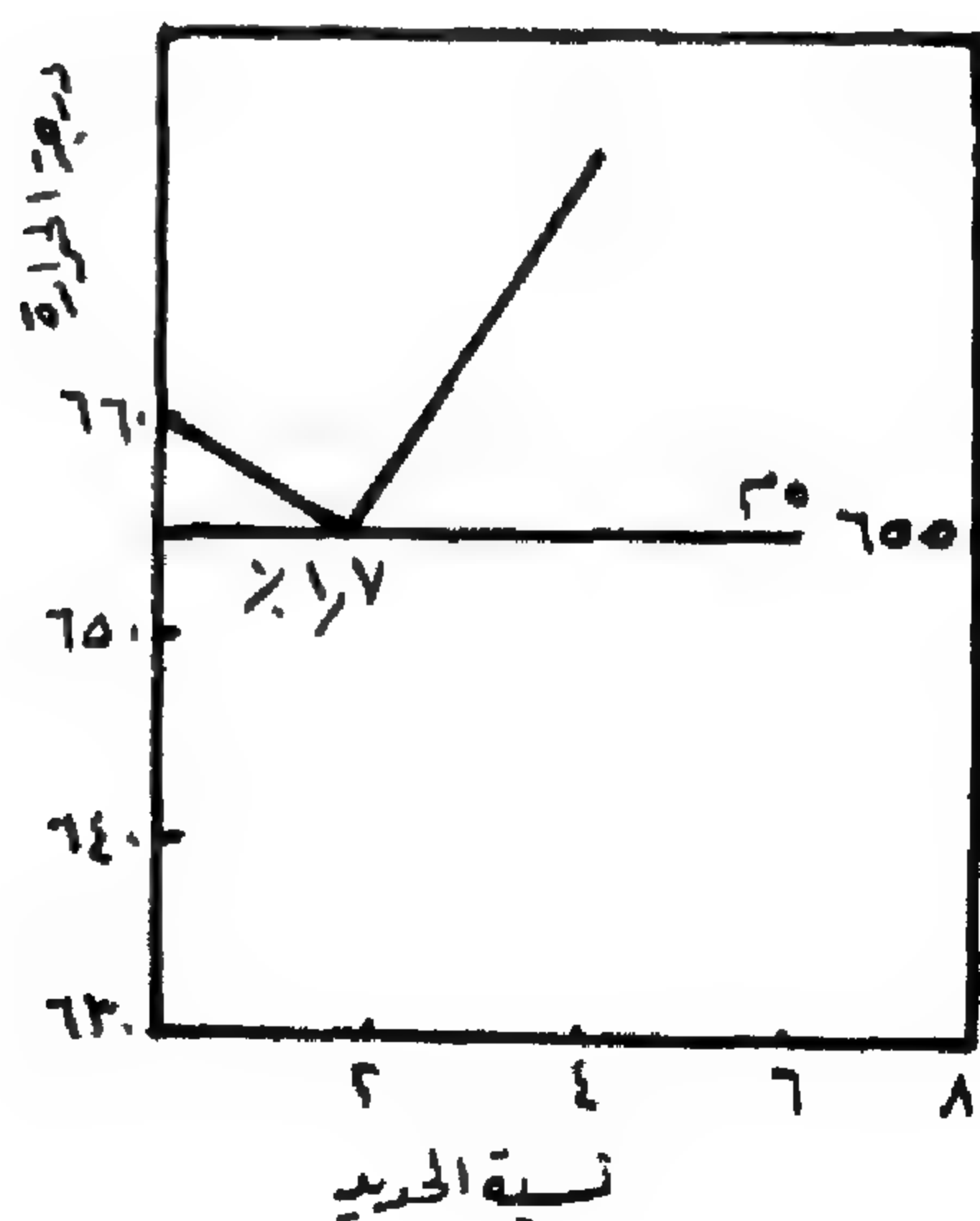


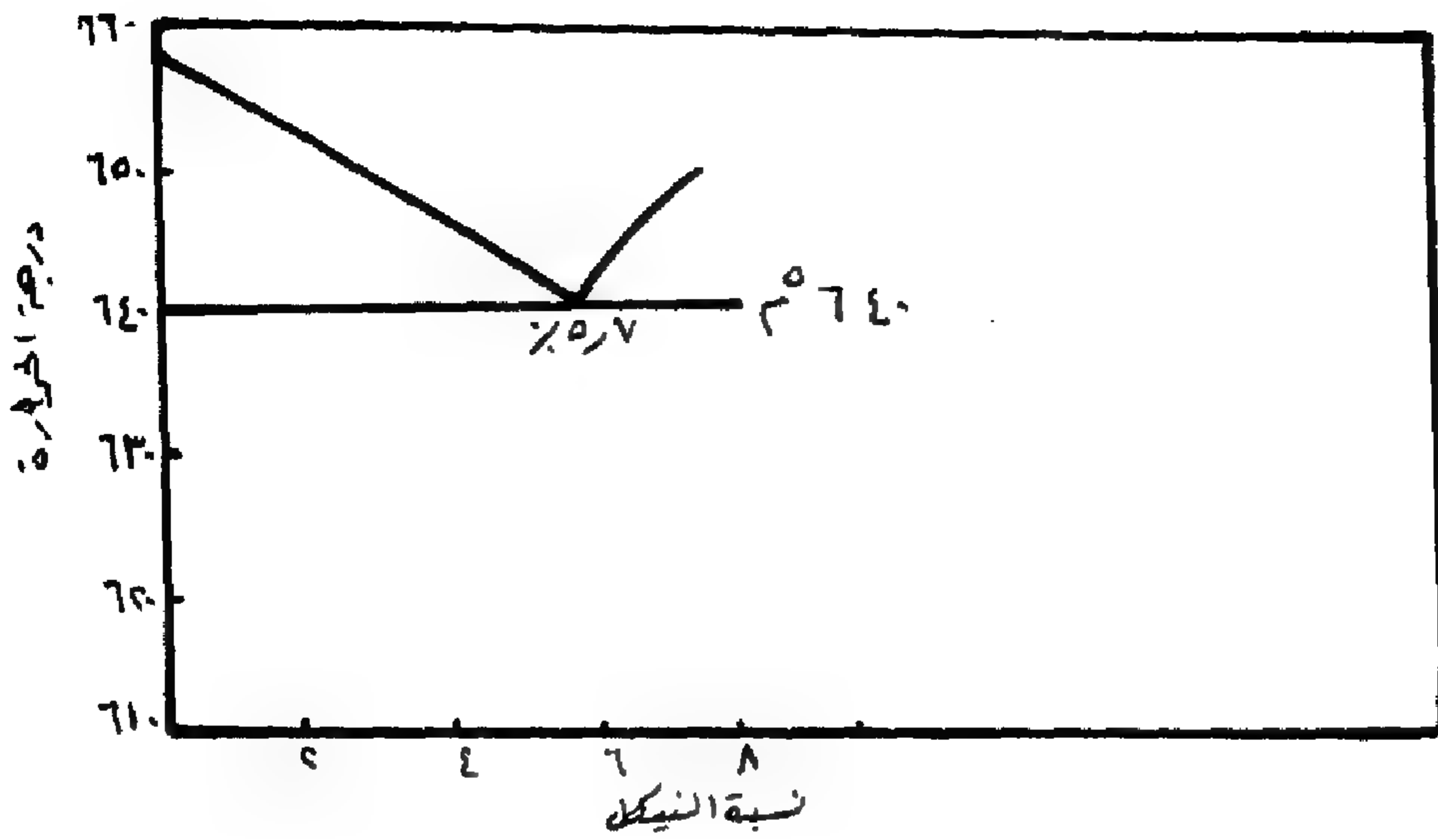
شكل (٨٨ ا)

رسم بياني يبين توازن سبيكة الألومنيوم - الماغنسيوم - السليكون والتي تعطى زيادة كبيرة في المتانة بعد تصليدها وتعتيقها

شكل (٨٨ ج)

رسم بياني يبين منحنى التوازن لتداوب الحديد والألومنيوم (لا تعطى هذه السبيكة زيادة في المتانة بعد تصليدها وتعتيقها) .



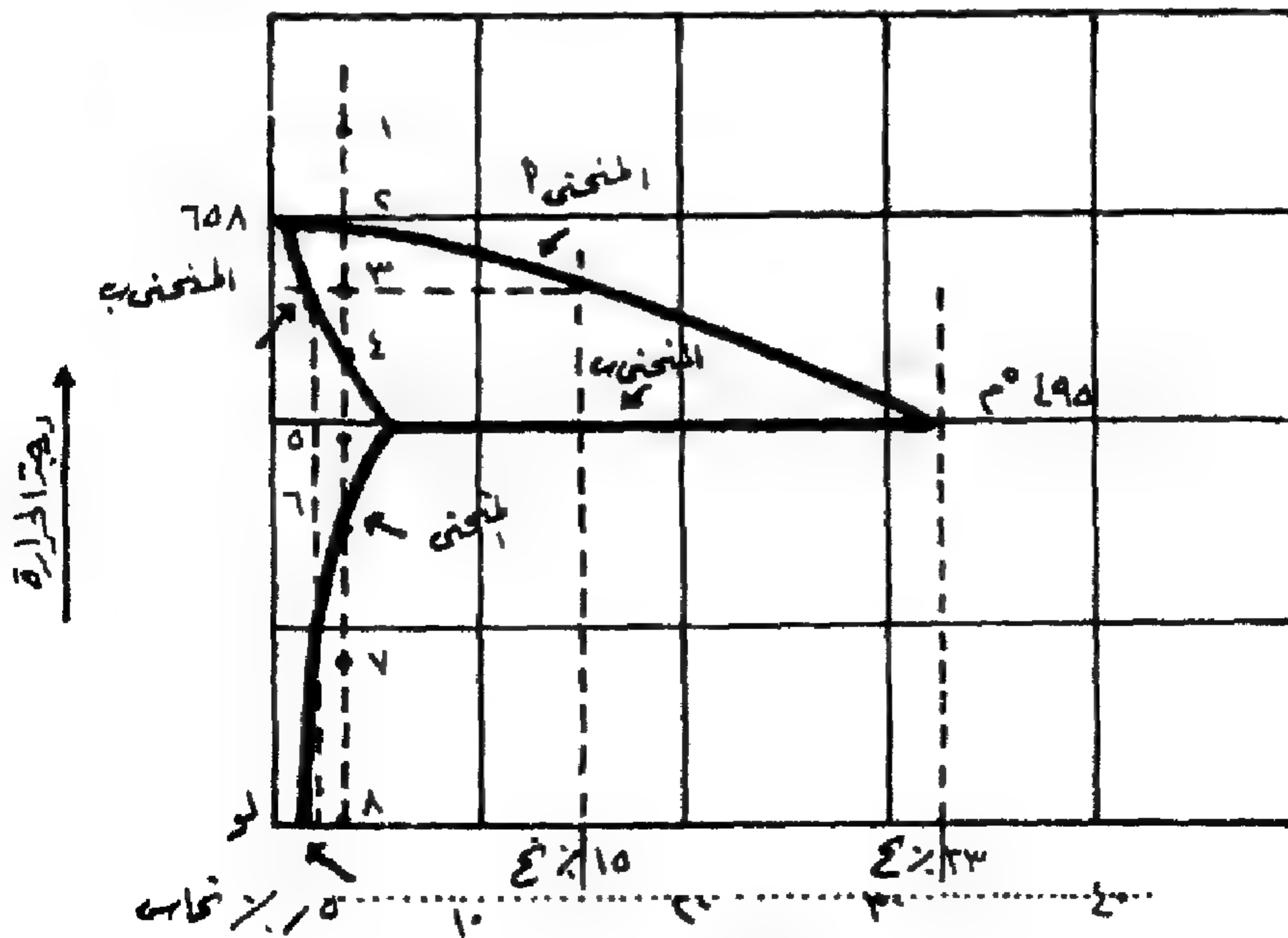


شكل (٨٨) د

رسم بياني يبين منحنى التوازن لتداوب النيكل والألومنيوم (لا تعطى هذه السبيكة زيادة في المتانة بعد تصليدها وتعتيقها)

ويهمنا في هذا الشأن الجزء الأول من منحنى التوازن والمنتهى بالمركب اليوتكتي الذي تبلغ نسبة النحاس به ٣٣٪ ، الشكل (٨٩) .

لتكن نسبة النحاس في السبيكة المختارة ٣٪ عند درجة حرارة الغرفة (٩٧٪ ألومنيوم) وتمثلها النقطة ٨ في الرسم البياني . لتتابع ماذا يحدث عند تسخين وتبريد هذه السبيكة . سنعتبر أولاً ارتفاع درجة حرارة السبيكة خلال الخط الرأسى المنقط حتى النقطة (١) ولتكن



شكل (٨٩)

درجة الحرارة $^{\circ}\text{C} 700$. عند هذه الدرجة ، تتحول السبيكة كلية إلى مصهور يتذوب خلاله النحاس نذوبا تاما في الألومنيوم .

يترك هذا المصهور ليبرد ، إلى أن يصل إلى درجة الحرارة $^{\circ}\text{C} 640$ التي تمثلها النقطة (٢) الواقعة على المنحنى أ . ويمثل هذا المنحنى درجة الحرارة التي يبدأ عندها المعدن المنصهر في التجمد . والبلورات الأولى التي تبدأ في التجمد تكون من الألومنيوم النقي تقريبا ، وتكون بمثابة نوى أو نقط مركزية تبدأ حولها الحبيبات البلورية في التكون ، بتجمد بلورات أخرى عليها مع استمرار التبريد .

المحلل الجامد :

لنترك المصهور يبرد حتى درجة الحرارة $^{\circ}\text{C} 620$ التي تمثلها النقطة (٣) ، ثم نستبقه عند هذه الدرجة من الحرارة ، لملاحظة ما يطرأ عليه من تغيرات . منذ بدأ المصهور في التجمد عند النقطة (٢) فإن السبيكة تظل متجمدة جزئيا ومنصهرة جزئيا . ولما كان الألومنيوم قد تبلور خلال المصهور مع قليل من النحاس ، لذلك تزداد نسبة النحاس المحتوي في الجزء من السبيكة الذي ما يزال منصهرا .

ولما كانت البيانات التي نقوم بدراستها من خلال هذا الرسم البياني قد تم الحصول عليها من خلال تجارب أجريت على مجموعات متكاملة من السبائك لها تركيبات كيميائية مختلفة ، كما هو معين على الإحداثي الأفقي (السيني) ، فن الممكن إدراك نسبة النحاس في البلورات التي تجمدت ، وكذلك نسبة النحاس في الجزء الذي لا يزال منصهرا .

نمد الخط الأفقي المنقط على يسار النقطة (٣) ليلاقى المنحنى (ب) (الذي يمثل درجة الحرارة التي عندها يتم التجمد لمختلف التركيبات الكيميائية) في نقطة ، نرسم منها خطا رأسيا يلاقى المحور الأفقي في نقطة تبين نسبة النحاس في البلورات التي تجمدت ، وتبلغ نسبة النحاس كما في الرسم حوالي ١,٢٥ % .

ولمعرفة نسبة النحاس في الجزء من السبيكة الذي لا يزال في حالة الانصهار ، يمد خط أفقي يمين النقطة (٣) ليقابل المنحنى (١) (الذي يحدد بداية التجمد) في نقطة ، يرسم منها خط رأسي يلاقى المحور الأفقي في نقطة تبين النسبة المطلوبة ، وهي كما في الشكل حوالي ١٥ % .

وعند درجات الحرارة المنخفضة (بين النقطتين ٣ ، ٤) ، تزداد نسبة النحاس بإطراد في البلورات التي تتكون خلالها . وعلاوة على ذلك ، فإن جزء السبيكة الذي لا يزال منصهرا يحتوي أيضا على نسبة أكبر من النحاس .

وهكذا ، فإنه عند أية نقطة تقع بين المنحنيين أ ، ب ، نحصل على خليط من الحسيمات الصلبة وبين المعدن المنصهر . وتتكون الحسيمات الصلبة من الألومنيوم متسابقة مع كمية معينة من النحاس . وعندما يكون هناك فلز متداوب في آخر ، كما في هذه الحالة ، توصف هذه المجموعة الثنائية (الصلبة) بأنها « محلول جامد » .

الإنتشار :

في الشكل (٨٩) ، عند النقطة ٤ ، تتجمد كل السبيكة تماما . وبعد خط أفقي إلى اليمين ليقابل المنحنى ١ ، يتضح أن البلورات التي تجمدت أخيرا تحتوي على ٢٦٪ من النحاس ، في حين أن البلورات الأولى التي تجمدت (عند النقطة ٢) تحتوي عمليا على ألومنيوم نقى . وهكذا فإنه عند النقطة (٤) تكون لدينا حبيبات يتكون مركزها من بلورات من الألومنيوم النقي تقريبا ، ويتكون سطحها الخارجي من بلورات نسبة النحاس بها ٢٦٪ . أما نسبة النحاس ككل ، أو متوسط خلال الحبيبة البلورية ككل ، فهي ٣٪ .

وبالمهبط إلى درجة حرارة مادون المنحنى (ب) ، ولتكن ٥٥٠°م التي تمثلها النقطة (٥) ، ويترك السبيكة عند هذه النقطة لملاحظة ما يحدث ، نجد أنه عند أي وضع تحت النقطة (٤) تكون السبيكة جامدة ، ولكن ذلك لا يعني أن التغيرات سوف تتوقف .

لسبائك الألومنيوم - النحاس أربعة أصناف (أطوار) : صنف السيولة التامة ، وهو ما يوجد أعلى المنحنى (١) ، وصنف ثان يتكون من جسيمات صلبة منتشرة في وسط منصهر ، ويقع هذا الصنف في المنطقة بين المنحنى (١) والمنحنى (ب) ، وصنف ثالث يقع تحت المنحنى (ب) وعلى يسار المنحنى (ج) حيث تكون المادة صلبة ، وصنف رابع يقع في المنطقة تحت المنحنى (ب) وإلى يمين المنحنى (ج) حيث تكون المادة صلبة ، ولكن في صورة مختلفة كما سنرى فيما بعد .

لنرجع إلى الوراء قليلا ، لمشاهدة ماذا يحدث عند درجة الحرارة ٥٥٠°م التي تمثلها النقطة (٥) . عند هذه الدرجة العالية - نسبيا - من الحرارة ، توصل الظاهرة التي تعرف باسم « الانتشار » دورها ، ولكن بمعدل أسرع نسبيا . وهذا يعني أن كمية النحاس الكبيرة نسبيا والتي توجد قريبا من الحدود الحبيبية (الحدود الفاصلة بين الحبيبات) سوف تنتشر بسرعة إلى الداخل خلال كل أجزاء الحبيبة ، ولا ينقضى وقت طويل حتى تصبح كل بلورة في الحبيبة محتوية على نفس الكمية من النحاس ٣٪ (كما في هذا المثال) .

وعليه ، يمكن القول بأن النقطة (٥) هي المثل بين النقطتين (٤) ، (٦) ، حيث يتم انتشار النحاس خلال كل التركيب البنياني ، إذا ما حافظنا على درجة الحرارة هذه لفترة زمنية كافية .

وبالطبع ، فإن الانتشار يتم سريعا عند درجات الحرارة العليا ، مما يعنى فترة زمنية أقل لإتمام الانتشار .

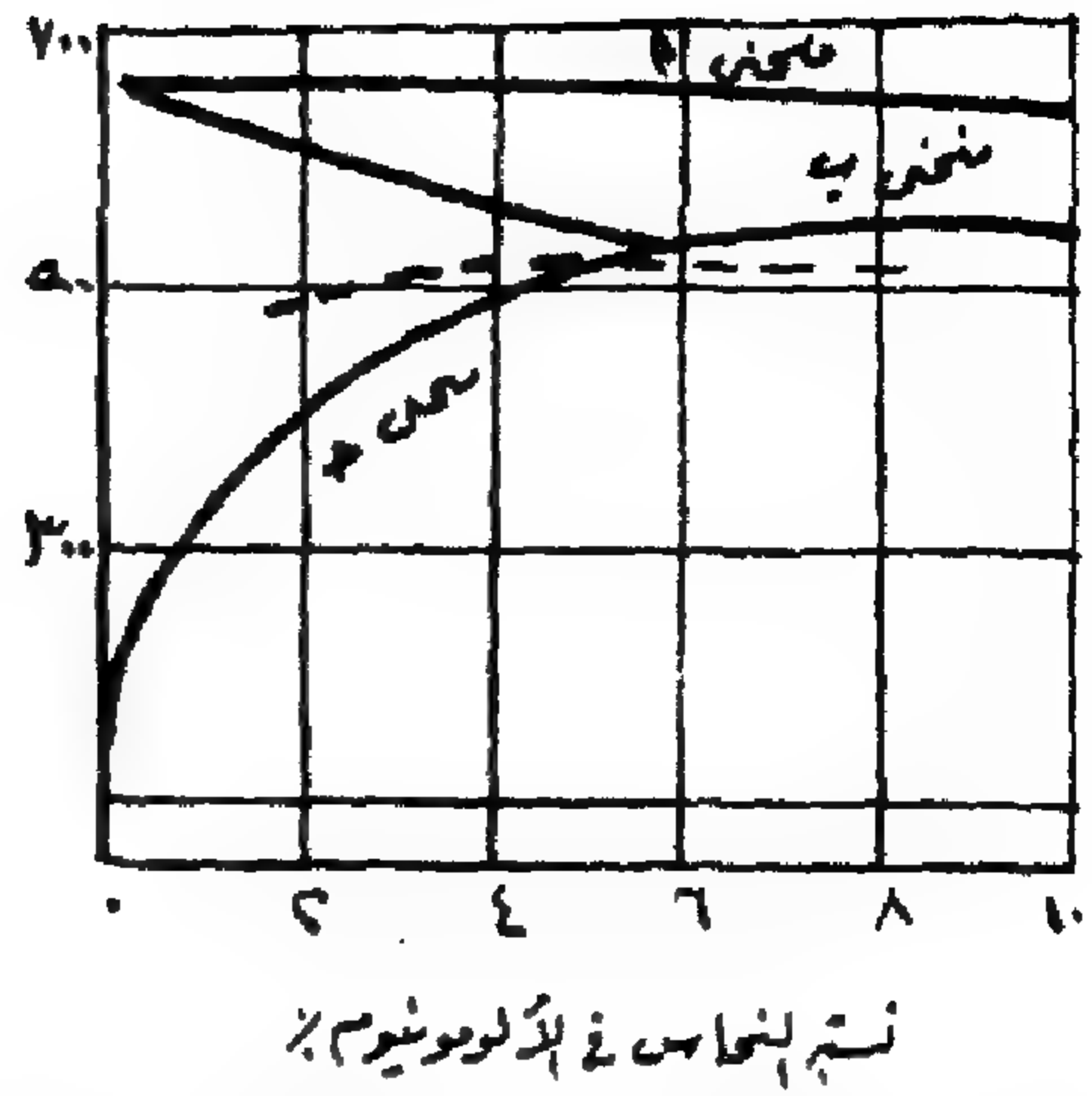
مرة أخرى تظهر أهمية عنصر الوقت كعامل هام فى حلقات المعاملة الحرارية .

والمنحنى (ج) هو الخط الذى يبين بداية تكون مركب يحتوى على النحاس والألومنيوم ، هو ألومنييد النحاس (نح لو ٣) . ويبدأ هذا المركب فى الانفصال أو الترسيب خلال المصهور عند أية درجة حرارة تحت النقطة (٦) التى تناظر 549°C ، للسبيكة موضع دراستنا التى تحتوى على ٣٪ من النحاس . وقد سبقت دراسة موضوع الترسيب لجسم جامد من مادة صلبة (جامدة) . عند النقطة (٧) ، تنفصل نسبة كبيرة من النحاس على هيئة ألومنييد النحاس . والواقع أنه عند درجة الحرارة هذه (حوالى 555°C) ، يكون حوالى ٩٩٪ من المادة على هيئة سبيكة من الألومنيوم والنحاس تحتوى على ٢,٥٪ من النحاس ، أما باقى النحاس ، فيكون على هيئة جسيمات من ألومنييد النحاس ترسبت من سبيكة الألومنيوم والنحاس ، وانتقلت مواضعها بين البلورات والحبيبات . أما الجزء المتبقى من المادة ، ويمثل ١٪ ، فيؤخذ على هيئة ألومنييد النحاس ، وهو يحتوى على حوالى ٠,٥٪ من النحاس الكلى الموجود فى المادة ، حتى تظل المادة ككل محتفظة بنسبة النحاس الثابتة بها ، وهى ٣٪ ، إذ أنه لم تحدث إضافة أو إزالة أية كمية من النحاس بها .

وعند النقطة (٨) نجد أن الكثير من النحاس لا يزال مترسبا على هيئة ألومنييد النحاس . وللحصول على المتانة القصوى لسبائك الألومنيوم ، يلزم التحكم بعناية فى حجم وتوزيع الأنماط المترسبة ، إذ أنها هى التى تكسب السبيكة المتانة الإضافية كما سبق شرحه .

التسقية - طرق التحكم فى المعاملة الحرارية :

يجدر بنا الآن أن نبحث عن طرق المعاملة الحرارية المناسبة لتقوية سبائك الألومنيوم ، التفكير فى طرق التحكم المستخدمة للحصول على أحجام الجسيمات التى ترسب وكيفية توزيعها . تنحصر الخطوة الأولى فى تسخين سبيكة الألومنيوم المعنية ، إلى درجة حرارة خاصة بها ، وتقع فى مكان ما بين المنحنيين (ب) ، (ج) على منحنى التوازن للسبيكة ، الشكل (٩٠) . والهدف من هذه الخطوة هو تذويب المكونات التى ترسبت ، حتى يمكن ترسيبها بعد ذلك بالصورة التى نريدها تماما . لذلك يجب أن تظل السبيكة عند هذه الدرجة من الحرارة فترة كافية ، حتى نضمن ذوبان الراسب خلال كل أجزاء السبيكة . وإبقاء السبيكة عند درجة الحرارة الخاصة بها لفترة معينة كافية من الوقت يسمى « التثريب الحرارى » وهو يمثل الخطوة الثانية فى حلقات المعاملة الحرارية .



شكل (٩٠)

درجة حرارة التسخين اللازمة لإعداد السبيكة
لتصليدها

والخطوة الثالثة هي تبريد الشغلة سريعاً ، في ماء بارد . وهذه العملية تسمى « التسقية » .
والهدف من عملية خفض المفاجئ لدرجة الحرارة بهذه الكيفية هو منع ترسب المكونات ،
التي كان من الممكن أن ترسب ثانية لو تركت لتبرد ببطء .

ولا يتأثر التركيب البنائي للسبيكة بعملية التسقية .

وينحصر الهدف الرئيسي لهذه الخطوات من المعاملة الحرارية في خلق النوع الملائم من
الأصناف المترسبة ، موزعة في مكانها الصحيح من التركيب البنائي للسبيكة .

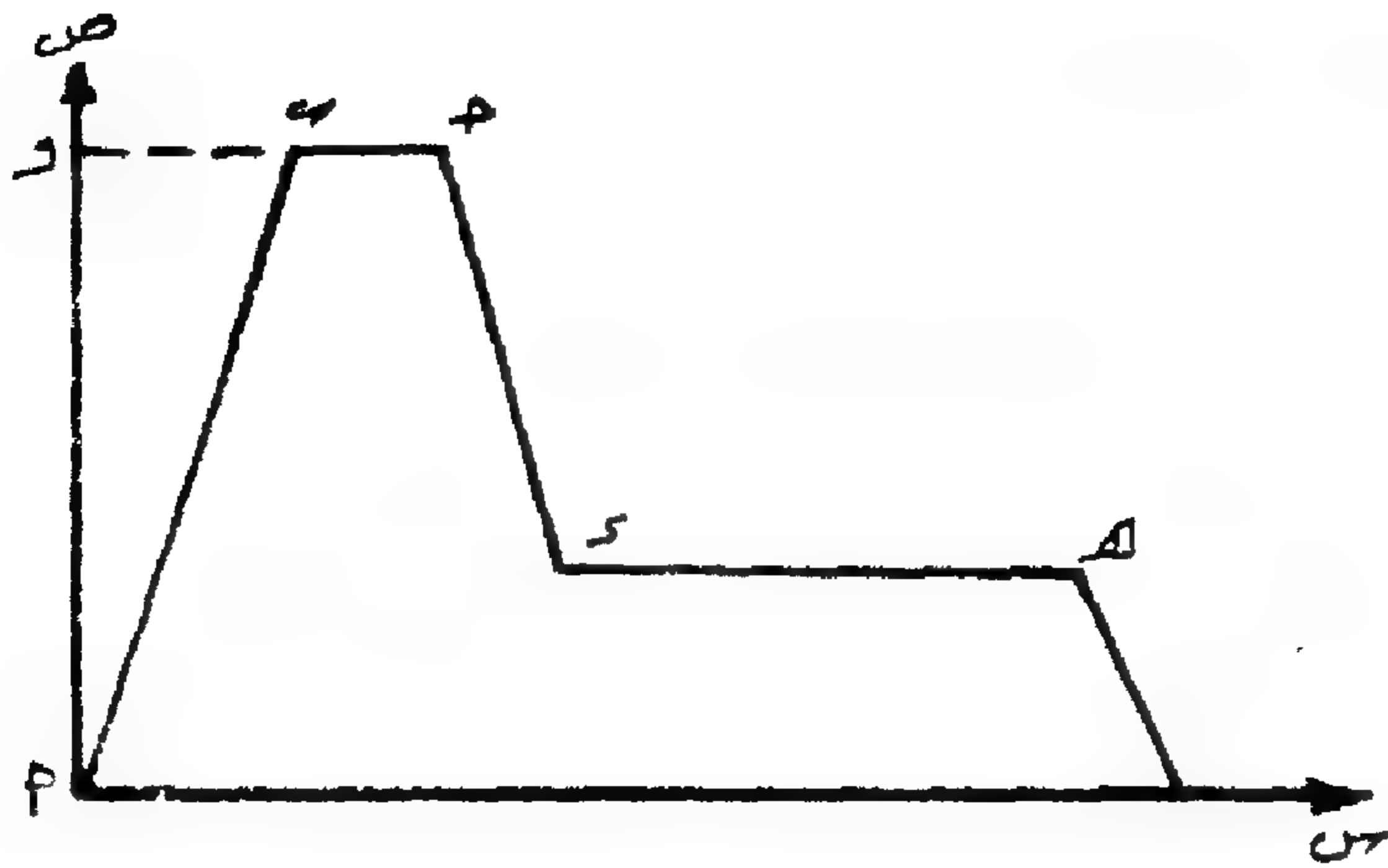
وتكون الرواسب المطلوبة في هذه العملية ، من النوع الذي لا يساعد على انزلاق البلورات
بعضها على بعض حتى يمكن الحصول على أقصى مقاومة لانزلاق البلورات . ويجب أيضاً أن
يكون توزيع هذه الرواسب منتظماً وعلى هيئة جسيمات صغيرة للغاية ، تقع فيما بين البلورات .

التصليد بالتعتيق إزمانياً :

عند تبريد المعدن تبريداً سريعاً إلى درجة حرارة الغرفة بتسقيته في وسط مناسب ،
تنشأ حالة تعرف « بالتشبع المفرط » حيث توجد في الفلز بصورته الراهنة مكونات زائدة
تظل متداوبة فيه ، وتقوم ما يمكن إذابته منها عند تلك الدرجة من الحرارة . ومن الواضح أن
مثل هذه الحالة بعيدة عن الاستقرار . وتكون النتيجة أن تبدأ هذه المكونات في الترسب خلال
سبيكة الألومنيوم .

وتحدث عملية الترسب هذه عند درجة حرارة الغرفة لمعظم سبائك الألومنيوم . وهذه
الظاهرة تسمى « الإصلا د بالإزمان الطبيعي » ، وهي تحتاج إلى وقت طويل يصل إلى عدة
أيام ، بل أسابيع . ولكن ثمة سبائك أخرى تحتاج إلى تسخينها قليلاً لإتمام عملية الترسب في فترة
زمنية معقولة ، وعندئذ تسمى « الإصلا د بالإزمان الاصطناعي » . ويبين الشكل (٩١) تأثير

درجة الحرارة ووقت الإزمان في زيادة متانة إحدى سبائك الألومنيوم . والنتيجة واحدة في كلتا الحالتين ، حيث يتم الحصول على المكونات ، وقد ترسبت بأحجام مناسبة وجرى توزيعها بانتظام ، وبذلك نحصل على أقصى متانة ممكنة للمبيكة .



شكل (٩١) الإصلاذ بالتعتيق إزمانيا لسبائك الألومنيوم

ص : المحور الرأسى ويمثل درجات الحرارة
س : المحور الأفقى ويمثل الزمن
اب : يمثل التسخين
ب : فترة الإبقاء عند درجة الحرارة المناظرة للنطقة و
ج : التبريد في وسط مناسب
د هـ : فترة الإزمان .

وتجب الإشارة هنا ، إلى أن سبائك الألومنيوم التى يجرى تصليدها بهذه الطريقة يمكن تطريتها مرة أخرى ، لإمكانية تشغيلها بسهولة ، ويتم ذلك بتلدينها (تخميرها) .

ولكن مع ذلك ، فإن عملية التلدين (التخمير) وحدها لا تؤدي إلى الحصول على القابلية القصوى لتشغيل سبائك الألومنيوم التى تعرضت للمعاملة الحرارية ، إذ يلزم في مثل هذه الحالات ، إجراء عملية إعادة تبلور .

والهدف من خطوات عملية التلدين التى يوصى بها ، هو ترسيب الأصناف « الأطوار » على هيئة جسيمات كبيرة الحجم خارج الحبيبات وخلال الحدود وليس داخلها ، فيما بين البلورات . وبهذه الطريقة يصبح المعدن « طريا » لسهولة انزلاق بلوراته خلال مستوياته الانزلاقية . ويحدث هذا التوزيع للأصناف (الأطوار) المترسبة ، بالإضافة إلى تأثير إعادة التبلور الذى سبق شرحه .

بما سبق يتضح جليا أنه من الضرورى اتباع الإرشادات التى تعطىها الشركات المنتجة بشأن خطوات المعالجة الحرارية لسبائك الألومنيوم بكل دقة ، حتى يمكن الحصول على الخواص المثل

لهذه السبائك . وإذا حدث لسبب أو لآخر ، أن حادت خطوات المعالجة الحرارية عن الأسلوب السليم ، تبرز صعوبات جمة كان من الممكن تلافيها .

تقسم سبائك الألومنيوم (بالنسبة لاستجابتها للمعاملة الحرارية) :

تقسم سبائك الألومنيوم القابلة للتشكيل إلى قسمين رئيسيين :

١ - سبائك لا تستجيب للمعاملة الحرارية .

٢ - سبائك تستجيب للمعاملة الحرارية .

أولاً : سبائك لا تستجيب للمعاملة الحرارية : تتوقف متانة هذه السبائك على مقدار ما تتعرض له من تشغيل على البارد بعد آخر عملية تلمدين (تخمير) . لذلك فإن الخواص التي تكتسبها مثل هذه السبائك ، تضيق إذا تعرضت لعملية تسخين لاحقة . ومن ثم فإن صفات السلع المصنوعة من هذه السبائك غير مضمونة .

ثانياً : سبائك تستجيب للمعاملة الحرارية : تحتوي هذه السبائك على عناصر أو مجموعة من العناصر أو المكونات تتذاب بطريقتين مملووسة عند درجات الحرارة العالية ، ولكن تذاوبها عند درجات الحرارة المنخفضة محدود . وتشتمل هذه السبائك على سبائك تحتوي على نسبة مرتفعة من النحاس ، وسبائك تحتوي على سيليكون المغنسيوم ، وسبائك تحتوي على نسبة مرتفعة من الزنك .

وتزداد متانة هذه السبائك أصلاً بمعاملتها حرارياً . وتتضمن العملية كاملة شقين :

أولهما : رفع درجة حرارتها حتى تتذاب مكوناتها ، ثم تسقيتها سريعاً في وسط بارد .

وثانيهما : الترسيب إزماني (الإصلاذ إزماني) عند درجة حرارة الغرفة أو أعلى منها قليلاً .

وهناك من سبائك الألومنيوم ما يتصلد طبيعياً بالإزمان (بتمتيقه) ، أي أن التصلد يتم بالترسيب عند درجة حرارة الغرفة . ولكن الغالبية العظمى تحتاج إلى رفع درجة حرارتها حتى درجة معينة - خاصة بكل سبيكة بعينها - ثم ترسيب الأصناف الفائضة .

السبائك المكسية :

يعرض الكثير من سبائك الألومنيوم المتوافرة في هيئة مكسية ، حيث يتم لصق طبقة من سبيكة إلى أحد سطحيها أو كليهما بسبيكة مختلفة . وبهذه الطريقة يمكن الحصول على مجموعة من الخواص المطلوبة .

المبادئ الأساسية لسبائك الألومنيوم القابلة للتشكيل :

عند تبريد الألومنيوم المنصهر ، فإن درجة حرارة تنخفض حتى $^{\circ}658$ ، حيث تثبت - وقتيا - لانطلاق كمية من الحرارة الكامنة تعادل الحرارة المفقودة ، ويبدأ المصهور في التجمد على هيئة تفرعية تعرف بالندريت ، كما في الشكل (٥٥) . وبعد تجمد المصهور كلية تبدأ درجة الحرارة في الانخفاض ثانية .

ومع ذلك فإن إضافة عناصر سبكية تتزاوب مع الألومنيوم ، تغير من مسلكه في أثناء تجمده من حالة الانصهار . فيبدأ التجمد عند درجة حرارة أقل ، كما تتجمد السبيكة تجمدا تاما عند درجة حرارة أقل . وتعرف درجتا الحرارة التي يبدأ التجمد عندهما وينتهي ، بدرجتى حرارة السيولة والجمود . وهما تتوقفان على كمية ونوعية العناصر المختلفة التي تضاف إلى الألومنيوم . وتحتوى الأجزاء التي تتجمد ، في أول الأمر ، على كميات محدودة من العناصر السبكية ، تتكون على هيئة حبيبات أو دندريت . وبإنخفاض درجة الحرارة ، يتوالى تجمد طبقات تحتوى على كميات متزايدة من العناصر السبكية ، ويكون تجمدها على الأجزاء الأولى . ويحتوى الجزء الذى يتجمد أخيرا على جزء كبير من العناصر السبكية التي تضاف إلى الألومنيوم . وفي العادة تكون هذه المادة صنفا قصيفا يعرف باليوتكتي ، ويتجمد بين الحبيبات .

ويؤدى وجود طبقة من مادة قصيفة بين الحبيبات السبكية ، إلى نشوء نقط ضعف في بنيتها . ولكن يمكن التغلب على هذه المشكلة بمعاملة السبيكة حراريا لتجنيس تركيبها البنيانى ، أو القضاء على هذا التركيب بتشغيله ميكانيكيا . وفي العادة يجرى تشغيل المعدن ميكانيكيا أول الأمر على الساخن ، حتى يكتسب أقصى لدونة ممكنة ، ويمكن بعد ذلك إحداث تشوهات لدنة على البارد أو الساخن ، تبعا للخواص المطلوبة . وبعد القضاء على هذا التركيب البنيانى (الذى يشبه بنيان المصبوبة) تصبح السبيكة طيعة قابلة للتشكيل .

التشوه اللدن :

يستخدم التشوه اللدن لتغيير التركيب البنيانى للسبيكة ، والذى يحاكي بنيان المصبوبات (المسبوكات) ، كما يستخدم لتشكيل السبائك بطرق التشكيل المعروفة ، وأيضا لتصليد وتقوية مجموعة السبائك التي لا تستجيب للمعاملة الحرارية .

التركيب البنيانى : عندما يتعرض فلز لإجهاد كاف ، تحدث انزلاقات خلال مستويات بلورية محددة . ويتوقف عدد المستويات التي يحدث خلالها الانزلاق ، على التركيب البلورى للفلز .

والألومنيوم ، شأنه كغيره من الفلزات سهلة التشغيل ، يتبلور على هيئة مكعب متمركز الوجه ، حيث يتوافر عدد من مستويات الانزلاق أكبر من أى تركيب بلورى آخر (انظر الشكل ٢) . وشكل هذه المعادن يمكن أن تتعرض لمزيد من التشغيل قبل أن تتصدع أو تنهار .

وعندما يتعرض الألومنيوم لتشوه لدن ، فإن الانزلاق يحدث خلال مستويات الانزلاق التى تكون مرتبة - فى الغالب - فى اتجاه القوة المسلطة . ولكن باستمرار الانزلاق ، يتغير وضع المستويات التى تعرضت للانزلاق بكيفية لا تكون مواتية للإجهاد الواقع عليها ، ومن ثم ينتقل الانزلاق إلى مستويات أخرى . وهكذا يتغير وضع مستويات الانزلاق تدريجيا ، إلى أن تستنفد كلية ، وعندئذ يصبح من الصعب تشغيل الفلز أكثر من ذلك .

الطاقة المحتواة : يعمل التشغيل على البارد على زيادة الطاقة الداخلية للمادة ، ومن ثم تصبح فى حالة غير مستقرة . وتتوقف كمية الطاقة الزائدة المخزونة بالمادة ، على درجة التشغيل على البارد ، وعلى الخصائص المميزة لها .

ونتيجة للانزلاق خلال مستويات بعينها ، فإن هذه الطاقة الزائدة لا تكون موزعة بانتظام خلال كل المادة ، ولكنها تكون مركزة فى بعض النقاط ، محدثة بها ارتفاعا كبيرا فى مستوى طاقتها ، ومن ثم فهذه النقاط أقل استقرارا من أجزاء الفلز الأخرى ، وتعمل كنوى عند تكوين حبيبات جديدة أثناء عملية إعادة التبلور .

التأثير على الخواص الميكانيكية : بتشغيل الألومنيوم على البارد ، تزداد كل من مقاومة الشد ، ومقاومة الخضوع ، والصلادة ، ولكن تنخفض خواصه المطيلية مثل النسبة المئوية للاستطالة ، والمقاومة للصدمات ، والقابلية للتشكيل .

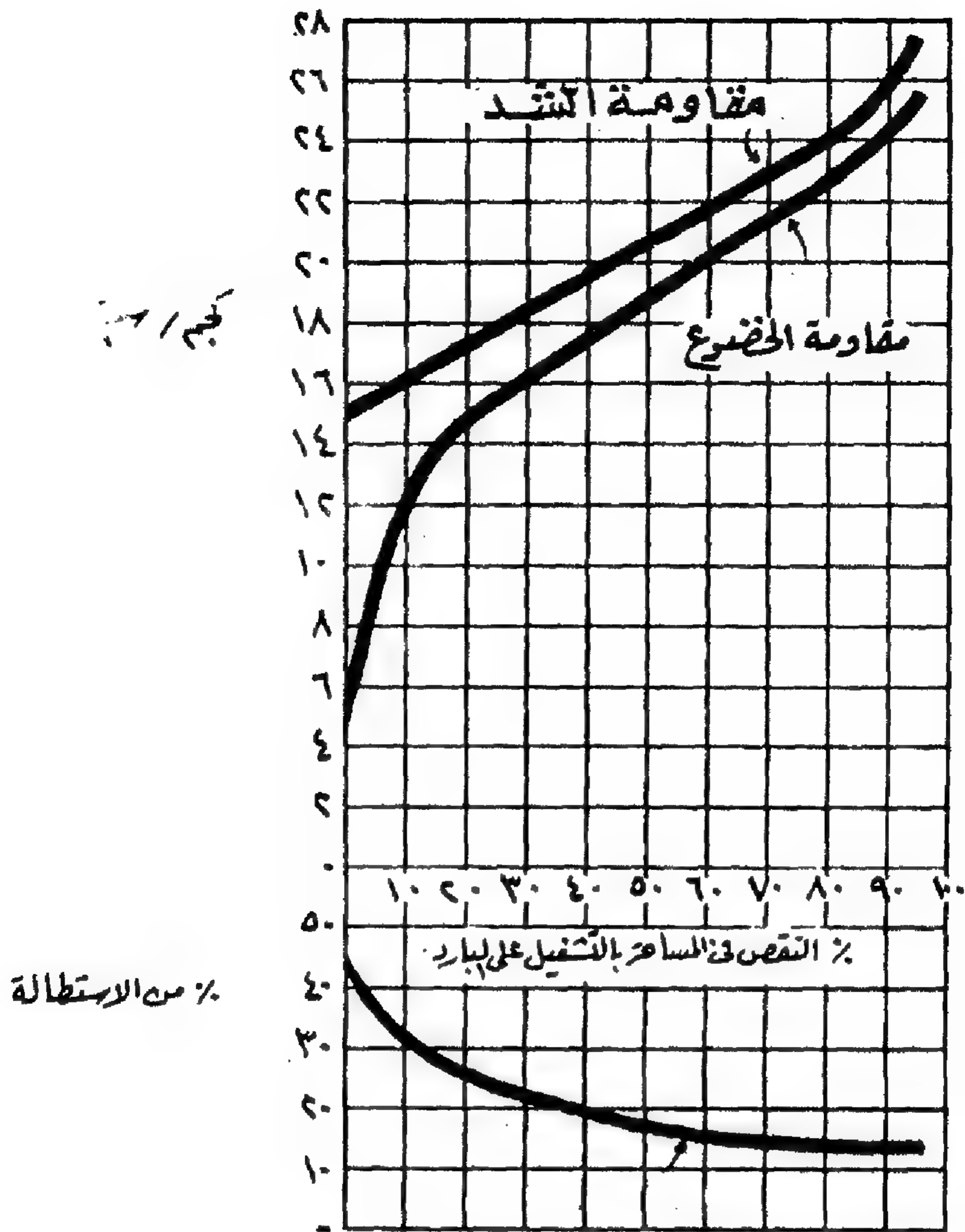
ويبين الشكل (٩٢) تأثير تشغيل سبائك الألومنيوم على البارد على كل من المقاومة الشد ، ومقاومة الخضوع ، والنسبة المئوية للاستطالة .

ظاهرة الاستعادة :

تحدث الاستعادة أثناء المراحل الأولى لعملية التلدين (التخمير) . وخلال هذه الفترة ، تزال بعض الإجهادات الداخلية مع استعادة جزء من المطيلية فى أثناء عمليات التشغيل على البارد .

ويتوقف مدى إزالة الإجهادات الداخلية للمادة خلال فترة الاستعادة ، على كل من الوقت ودرجة الحرارة . وفى بعض السبائك ، خاصة السبيكة (ا ح*) تلزم زيادة معدل التسخين لإنتاج حبيبات دقيقة بالسبيكة . فإذا كان معدل التسخين بطيئا ، فإن إزالة الإجهادات من النقاط

(*) انظر الباب الخامس .



شكل (٩٢)
تأثير التشغيل على البارد على سبائك الألومنيوم

التي تتركز بها نتيجة للتشغيل على البارد ، قد يكون كافيا لإنتاج حبيبات كبيرة الحجم عند إعادة التبلور .

وظاهرة الاستعادة أهم ما يحدث خلال عملية تلدين (تخمير) مادة تعرضت للتشغيل على الساخن (أى تعرضت للتشويه اللدن فوق درجة حرارة إعادة التبلور) . وهو صحيح أيضا للمادة التي تعرضت لمقدار من التشغيل على البارد غير كاف لإعادة تبلورها .

إعادة التبلور :

تأثير إعادة التبلور : عند تسخين مادة سبق أن تعرضت للتشغيل على البارد إلى درجة حرارة مناسبة ، فإن الحبيبات المجزأة ، نتيجة لذلك التشغيل ، تقوم بدورها بتكوين حبيبات جديدة مستقرة وغير مجهدة ، يمكنها تقبل مقدار من التشغيل على البارد .

وتستغل النقط ذات الطاقة العالية التي نشأت عن عمليات التشغيل على البارد كنوى للحبيبات الجديدة . وتكوين الحبيبات الجديدة يزيل مقدارا ملحوظا من تأثيرات التشغيل على البارد ، فتستعيد السبيكة خصائصها التي كانت تتمتع بها أصلا .

تأثير التشغيل على البارد : درجة التشغيل على البارد لها أهمية كبيرة . فإذا كانت غير كافية ، فإن إعادة التبلور لا تحدث . وإذا كانت كافية بالكاد لإعادة التبلور ، فإن المادة الناتجة سوف تحتوى على حبيبات كبيرة الحجم . ولكن وجود مقدار كاف من التشغيل على البارد ، يعمل على تشجيع تكوين حبيبات دقيقة .

القوانين التي تتحكم في عملية إعادة التبلور : هناك عدة قوانين أساسية متعارف عليها تتحكم في عملية إعادة التبلور للمادة ، منها :

- ١ - زيادة درجة التشغيل على البارد ، تقلل من درجة الحرارة اللازمة لإعادة التبلور .
- ٢ - زيادة الفترة الزمنية عند درجة الحرارة التي تسخن إليها المادة ، تقلل من درجة حرارة إعادة التبلور .
- ٣ - معدل التسخين إلى درجة حرارة إعادة التبلور ، وخلالها ، تؤثر على حجم الحبيبات المتكونة .
- ٤ - درجة التشغيل على البارد ودرجة الحرارة المستخدمة ، تؤثران على حجم الحبيبات المتكونة .

حجم الحبيبات المتكونة :

من المرغوب فيه عادة ، أن تكون المسادة التي تتعرض لعمليات سحب عميق ، محتوية على حبيبات دقيقة أو متوسطة الحجم . فبالرغم من أن المسادة التي تحتوى على حبيبات كبيرة الحجم ، تكون لها مقدرة على تقبل التشوه اللدن ، أكبر مما للمادة التي تحتوى على حبيبات دقيقة ، إلا أنه يكون لها ميل كبير للتشوه موضعيا ، مما ينتج عنه سطح غير مستحب المظهر يعرف « بقشرة البرتقالة » ، للشبه الكبير بينهما . وهذا هو السبب الذي يدعو إلى تفضيل المسادة ذات الحبيبات الدقيقة عند إجراء عمليات السحب العميق .

العوامل التي تؤثر على حجم الحبيبات : يتوقف الحجم النهائي للحبيبات ، بعد إعادة تبلور المادة ، على حجم الحبيبات ومعدل نموها . وهما بدورهما يتأثران بعدة عوامل منها :

- ١ - الحجم الأصلي للحبيبات .
- ٢ - درجة التشغيل على البارد .
- ٣ - معدل التسخين .
- ٤ - درجة الحرارة النهائية .
- ٥ - الفترة الزمنية لاستبقاء المادة عند تلك الدرجة من الحرارة .
- ٦ - التركيب الكيميائي للمادة .

تلدن (تخمير) سبائك الألومنيوم :

يحتاج كثير من عمليات تصنيع سبائك الألومنيوم القابلة للتشكيل إلى عملية تلدن ، بهدف إزالة تأثيرات التشوه اللدن ، أو لتطرية السبيكة بعد معالجتها حراريا وإزالتها .

وتختلف هذه العملية في تفاصيلها من سبيكة لأخرى ، ولكن الهدف منها واحد ، هو الحصول على مادة تنسم بالقابلية المثل للتشغيل .

سبائك الألومنيوم التي لا تستجيب للمعاملة الحرارية :

يجرى تلدن السبائك التي لا تستجيب للمعاملة الحرارية كالألومنيوم النقي (أ) ، والألومنيوم التجاري (ب) ، والسبيكة (١ - ح) ، والسبيكة (١٢ - ج) ، والسبيكة (١٤ - د) ، لإزالة تأثير الإجهادات التي تعرضت لها أثناء تشغيلها على البارد .

ويكفي لهذه السبائك إبقاؤها عند درجة حرارة $340 \pm 50^\circ\text{C}$ لمدة ساعة واحدة حتى تتشرب الحرارة تماما ، باستثناء السبيكة (١٢ - ح) التي يجب أن تتشرب الحرارة عند 400°C ، وذلك لارتفاع درجة حرارة إعادة تبلورها .

وليس لمعدل تبريد هذه السبائك أية أهمية ، كما أن التسقية السريعة غير مطلوبة بالمرّة ، تفاديا لأي إجهادات داخلية قد تنشأ . وقد وجد أن التبريد في الهواء كاف تماما وينى بالغرض . سبائك الألومنيوم التي تستجيب للمعاملة الحرارية :

يجرى تلدن سبائك الألومنيوم التي تستجيب للمعاملة الحرارية ، لإزالة تأثيرات الإصلاص الانفعالي الذي ينتج عن التشوه اللدن ، أو لإزالة تأثيرات المعاملة الحرارية .

ولإزالة الإصلاص الانفعالي نتيجة التشغيل على البارد ، يجري تشريب السبيكة حراريا لمدة ساعة واحدة عند $330 - 350^\circ\text{C}$ يتبعه عادة تبريد في الهواء ، وهو كاف . وهذا الإجراء كفيل بإزالة تأثيرات المعاملة الحرارية ، إذا لم يكن مطلوبا تطرية السبيكة بأكبر قدر ممكن .

ولإزالة تأثيرات المعاملة الحرارية ، سواء كانت جزئية أو كلية ، يجرى التبريد الحرارى لمدة ساعتين عند ٤٠٠ - ٤٢٥ م ، يتبعها تبريد بمعدل لا يزيد على ١٠ م^٥ كل ساعة حتى ٢٦٠ م^٥ ، وذلك للحصول على سبيكة طرية طيعة .

كما أنه من ناحية أخرى ، فإن انتشار النحاس وغيره من العناصر السبكية الأخرى يكون سريعاً عند درجات الحرارة العالية ، ولذلك فهو يفسد خواص السبائك المكتسبة ، حيث ينتشر خلال طبقة الكساء التى تكون عادة من الألومنيوم النقى .

وفى هذا النوع من السبائك ، لا يكون لمعدل التبريد أهمية إلا عند استخدام عمليات التلدين لتذويب مكونات السبيكة ، عندئذ يجب ضبط معدل التبريد حتى يسمح بإعادة ترسيب المكونات .

المعاملة الحرارية لسبائك الألومنيوم كعملية تذويب لمكونات السبيكة فى محلول :

يجرى تصليد وتقوية مجموعة سبائك الألومنيوم التى تستجيب للمعاملة الحرارية ، خلال سلسلة من العمليات تشمل تسخين وتبريد المادة فى الحالة الصلبة بصورة محكمة . والهدف من هذه العمليات ، هو التحكم فى حجم وتوزيع الأصناف المترسبة التى تكون قد تكونت نتيجة للعناصر السبكية التى أضيفت إلى الألومنيوم ، والتى لها ذاتية تختلف باختلاف درجات الحرارة .

العناصر المتداوبة : يتداوب كثير من العناصر مع الألومنيوم ، وأكثر هذه العناصر أهمية من الناحية التجارية ، السيليكون ، والحديد ، والنحاس ، والمغنسيوم ، والنيكل ، والزنك ، والكروم ، وبعض هذه العناصر لا يتداوب مع الألومنيوم إلا فى الحالة المنصهرة . وهناك عدد من العناصر له ذاتية محسوسة عند درجة الحرارة العادية (درجة حرارة الغرفة) ، فى حين توجد عدة عناصر تتداوب بشراهة فى الحالة المنصهرة ، ولكنها تكون شحيحة الذوبان فى الحالة الصلبة عند درجات الحرارة المنخفضة .

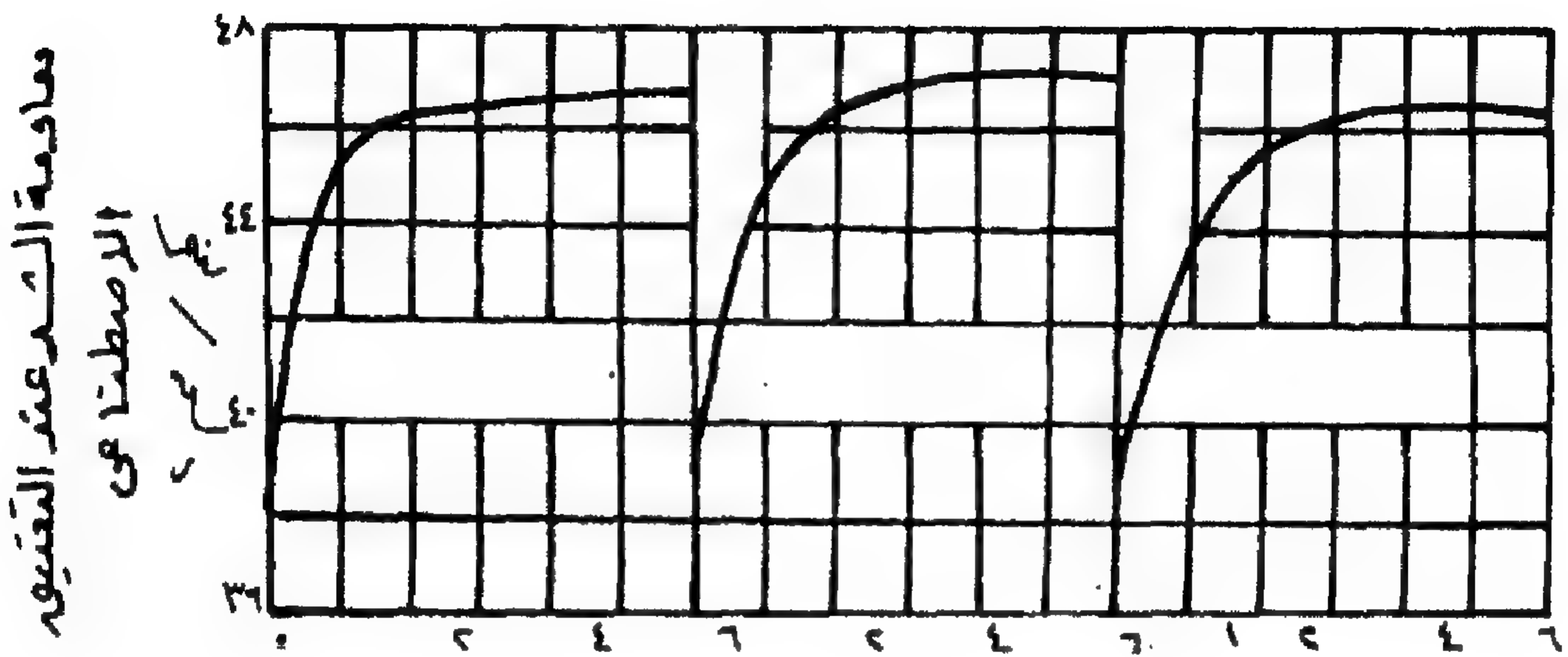
السبائك التى تستجيب للمعاملة الحرارية : تتكون مجموعة السبائك التى تستجيب للمعاملة الحرارية من عناصر أو مجموعة عناصر أو مكونات تقل ذاتيتها فى الحالة الصلبة بانخفاض درجة الحرارة . فإذا لم تبد هذه السبائك انخفاضاً فى ذاتيتها بانخفاض درجة الحرارة ، فإنها تدرج مع مجموعة السبائك التى لا تستجيب للمعاملة الحرارية .

تذويب المكونات فى محلول جامد :

تجرى معاملة حرارية ، بهدف تكوين محلول من المكونات المتداوبة ، وإعاقة أو تأخير إعادة ترسيبها بصورة عاجلة ، وهى تسمى « المعاملة الحرارية لتكوين محلول من المكونات » . وتتضمن خطوتين : تكوين محلول من العناصر المتداوبة ، ويتم ذلك برفع درجة الحرارة ، تتبعها تسقية سريعة . ومثانة السبائك التجارية التى تستجيب للمعاملة الحرارية لا يكفى الحصول

عليها بتكوين محلول من المكونات ، بل يجب أن تكون مشفوعة بعملية أخرى تالية لها ، هي ترسيب المكونات كما ينبغي تعتيقها إزماتيا . وتؤدي الخطوة الأولى فقط إلى الحصول على أقصى متانة أو صلادة .

ويمكن تغيير مقاومة الشد ، بتعريض السبيكة التي أجري تعتيقها لعملية استعادة بعد تقسيئها ، كما في الشكل (٩٣) .



شكل (٩٣)

تغيير مقاومة الشد بالتعتيق الاصطناعي لإحدى سبائك الألومنيوم تعرضت مرتين لعملية استعادة بعد التقسية

الفرق بين التلدين (التخمير) والمعاملة الحرارية لتكوين محلول من المكونات : تختلف عملية المعاملة الحرارية التي تجري على سبيكة لتكوين محلول من المكونات بها ، عن عملية التلدين (التخمير) في عدة نقاط ، بالرغم من أن عمليات الاستعادة ، وإعادة التبلور ، والنمو البلوري ، متشابهة في كلا المعاملتين . ولكن عملية التلدين ، تتضمن درجة حرارة تعمل على إدماج البلورات أو السماح لها بالنمو لتكوين حبيبات كبيرة الحجم ، وليس لهذه العملية تأثير كبير في الحد من عمليات التشوه بالتشغيل . في حين نجد أن المعاملة الحرارية لتكوين محلول من المكونات ، تعمل على تذويب المكونات السبكية في الألومنيوم .

أسس اختيار درجة الحرارة : عند تسخين سبيكة من الألومنيوم تحتوي على عدة مكونات من العناصر المتداوبة ، فإن درجة الحرارة التي تختار لمعاملة السبيكة حراريا عندها بهدف تكوين محلول من المكونات بها ، يجب بالضرورة أن تداني نقطة الانصهار للمكون الذي له أقل درجة

حرارة انصهار في المجموعة . وفي هذه السبائك ، يؤدي الإفراط في التسخين ، ولو بدرجات قليلة ، إلى حدوث انصهار موضعي بمواقع معينة بالسبيكة . وإذا ما حدث ذلك، يلزم إعادة صهر السبيكة ثانية ، ثم تصنيعها من جديد .

وهناك العديد من السبائك، خاصة تلك التي يتم تقويتها أساساً بالمكون مغنيسيوم (سليسيوم) ، يمكن معاملتها حرارياً لتكون محلولاً من مكوناتها عند درجات حرارة تزيد على اللازم دون خشية انصهارها . ومع ذلك فإن استخدام مثل هذه الدرجات من الحرارة ، قد يؤدي إلى التوائها واعوجاجها ، كما يشجع على تكوين طبقة سميكة من الأكسيد .

وبعد الحصول على محلول كيميائي يجمع شئ عناصر ومكونات السبيكة متداوبة بعضها مع بعض ، يلزم إجراء عملية تدعيم لهذه الحالة ، بتسقيتها سريعاً لمنع إعادة ترسبها على الفور . وإذا حدثت إعادة ترسيب في أثناء ذلك ، يتم الحصول على تقوية جزئية ، تتوقف على حجم وتوزيع الجسيمات المترسبة .

بالإضافة إلى ما سبق ، فإن ترسيب بعض المكونات خلال الحدود الفاصلة بين الحبيبات وخلال مستويات انزلاق معينة ، يقلل من مقاومة العديد من السبائك للتآكل الكيميائي بصورة خطيرة .

خطوات التقسية بالمعاملة الحرارية للسبائك :

تتضمن خطوات تقسية سبيكة للألومنيوم بمعاملتها حرارياً أربع خطوات :

- التسخين إلى درجة حرارة سبق تحديدها .
 - التبريد الحراري للسبيكة بإبقائها عند هذه الدرجة من الحرارة لفترة معينة من الوقت .
 - التبريد السريع عند درجات حرارة منخفضة نسبياً .
 - التعتيق بالإزمان ، أو التصليد بالتبريد ، ويتمان تلقائياً عند درجة حرارة الغرفة ، أو نتيجة لانخفاض درجة حرارة المعاملة الحرارية .
- ولقد سبق أن ذكرنا أنه إذا حدث التعتيق عند درجة حرارة الغرفة ، فإنه يسمى « التعتيق الطبيعي » ، في حين أن عملية التعتيق عند درجات حرارة أعلى ، توفيراً لزمن التعتيق ، تسمى « التعتيق الاصطناعي » .

التسقية : بعد الحصول على مكونات سبيكة الألومنيوم في حالة متداوبة على هيئة محلول جامد ، نسي السبيكة فوراً لإعاقة أو تأخير الترسب الفوري لهذه المكونات .

وهناك ثلاث طرق متميزة للتسقية ، يجري استخدامها إستناداً إلى نوع السبيكة والخواص المطلوبة .

• **التسقية في ماء بارد :** تجرى عادة تسقية الأجزاء والأدوات المنتجة بالدرفلة المسطحة ، وبطرق البثق ، والأنابيب ، والمطروقات الصغيرة ، وما شابه ذلك ، في الماء البارد . ويجب ألا تزيد درجة حرارة الماء قبل التسقية على 30°C ، كما يجب أن يكون حجم الماء كافياً ، بحيث لا يتعدى الارتفاع في درجة الحرارة الناشئ عن التسقية 10°C . ومن ثم يتم الحصول على الخواص الميكانيكية المطلوبة ، مع أقصى مقاومة للتآكل الكيميائي .

• **التسقية في ماء ساخن :** يمكن تسقية المطروقات الضخمة والقطاعات الثقيلة في ماء ساخن ($60 - 70^{\circ}\text{C}$) أو في ماء يغلي . مثل هذا النوع من التسقية يقلل من حدوث أي تشويه في المنتج ، كما يخفف من حدة التعرض لحدوث شذوخ فيه .

• **التسقية خلال تيار من الرذاذ :** يجري تطبيق هذا النوع من التسقية على ألواح الألومنيوم المكسية والأجزاء المصنوعة منها ، وكذلك على القطاعات الثقيلة لجميع السبائك تقريباً ، حيث تعرض لتيار سريع من الماء المدفوع على هيئة رذاذ .

ولكن هذا النوع من التسقية لا يطبق على السبكتين (٦ - ٨) ، حيث تتأثر مقاومتها للتآكل الكيميائي كثيراً نتيجة لذلك .

المشاكل التي تنشأ عن المعاملة الحرارية :

التسخين المفرط : ويعرف أيضاً بالإنصهار (ويشمل الانصهار البوتكتي ، الانصهار الجزئي ، الانصهار خلال الحدود الفاصلة بين الحبيبات) . ويؤدي الإفراط في تسخين السبيكة إلى انخفاض مطيليتها ، وفي بعض الحالات يؤدي إلى نشوء بشور سطحية وانخفاض متانة السبيكة ، كما يشجع على حدوث شذوخ في أثناء التسقية .

الأكسدة نتيجة لارتفاع درجة الحرارة : تؤدي هذه الأكسدة إلى تدهور السبيكة . وهي لا تحدث عادة إلا للمنتجات المكشوفة التي يتم تسخينها في أفران هوائية (أفران الوقود) .

الشذوخ نتيجة التسقية : تحدث هذه الشذوخ عادة أثناء أو بعد تسقية القطاعات الثقيلة أو القطع التي بها تغيرات حادة في مقاطعها . وتكون غالباً نتيجة إجراء التسقية بمعدل أسرع من اللازم .

التشوه والانفعال الزائدان : ويحدثان نتيجة الآتي :

(أ) وجود تباين زائد في درجات الحرارة بمختلف مساحات السبيكة في أثناء فترة التسخين ، نتيجة عدم التوزيع الحراري المنتظم في فرن التسخين .

(ب) التعليق الخاطيء للشغلة أثناء فترة التسخين .

(ج) استخدام التسقية بصورة عنيفة .

(*) انظر الباب الخامس .

الباب الخامس

أجهزة التسخين في صناعة الألومنيوم

يتناول هذا الفصل أجهزة التسخين التي يجري استخدامها صناعياً في أغراض إجراء المعاملات الحرارية للألومنيوم وسبائكها ، وفيها ترفع درجة حرارة مشغولات الألومنيوم إلى ما دون درجة حرارة خطوط السيولة للسبائك المختلفة المولدة لها ، والتي يمكن تحديدها بمعرفة التركيب الكيميائي للسبيكة ، ومنحنى الاتزان الخاص بها .

ويمكن تقسيم هذه الأجهزة إلى قسمين من الأفران :

١ - أفران الوقود : وفيها يستخدم الوقود في صورتيه الغازية والسائلة لتوليد كمية من الحرارة تكفي لرفع درجة حرارة جو الفرن إلى درجة الحرارة المطلوبة . وينتج احتراق الوقود عن أكسدة سريعة للجزء القابل للاحتراق من مادة الوقود فتتولد الحرارة . وعندما يتم خلط مادة الوقود بالنسبة الصحيحة من الأكسجين الموجود بالهواء الجوي ، تتخلف عن عملية الاحتراق النواتج الآتية : ثاني أكسيد الكربون ، وبخار الماء ، بالإضافة إلى غاز النتروجين الموجود أصلاً في الهواء . ويعتبر غاز الأكسجين في الغازات العادمة ، دليلاً على دفع الهواء بكمية أكبر مما يلزم نظرياً (هواء زائد) ، كما يعتبر وجود غاز أول أكسيد الكربون في الغازات العادمة ، مؤشراً على زيادة كمية الوقود عن كمية الهواء المناظرة لها .

٢ - أفران كهربائية : وفيها تستغل الطاقة الكهربائية أساساً للحصول على كمية الحرارة المطلوبة لأغراض التسخين . وتتميز هذه الأفران الكهربائية بنظافة استخدامها ، ودقة التحكم في كمية الحرارة المتولدة ، مما يؤدي بالتالي إلى الحصول على نتائج باهرة يمكن التعويل عليها .

وفيما يلي سنتناول أفران التسخين الكهربائية بشيء من التفصيل ، لتنوعها وأهميتها الكبيرة في عمليات المعاملة الحرارية لمنتجات الألومنيوم وسبائكها .

أفران التسخين الكهربائية :

يمكن تقسيم أفران التسخين الكهربائية تبعاً للوسط الذي يتم خلاله تسخين المادة أو تبعاً لتصميم غرفة التسخين ، حيث الترتيبات الكهربائية ، وطريقة تحريك الشغلة خلال الفرن .

وفي الصناعات المعدنية - كما هي الحال في صناعة الألومنيوم - يكون وسط التسخين عادة غازاً أو مصهوراً لأحد الأملاح ، ويتم تسخين الوسط ، خلال وحدات تسخين ترتفع درجة حرارتها نتيجة

لمقاومتها لسريان التيار الكهربائي . ويجرى تسخين الملح المنصهر بواسطة إلكترود أو أكثر ينمر فيه .

أولا : أفران التسخين بالمقاومة الكهربائية : يتكون فرن المقاومة أساسا من غرفة تسخين تشمل عدة عناصر للتسخين بالمقاومة ، قد تقام على جدران الفرن ، أو في سقفه ، أو على أرضيته ، أو ببابه ، استنادا إلى نوع التبطين ، ووسائل التحكم في درجة الحرارة ، وأسلوب تعليق قطع المشغولات داخل الفرن .

وتنتقل الحرارة إلى الشغلة بطرق الإشعاع والحمل ، وكلما كانت درجة الحرارة عالية ، كلما زادت كمية الحرارة المشعة .

وتستخدم أفران التسخين بالمقاومة في أغراض التخمير والتصليد ، وتليد المنتجات المصنوعة من مسحوق الألومنيوم وسبائكته .

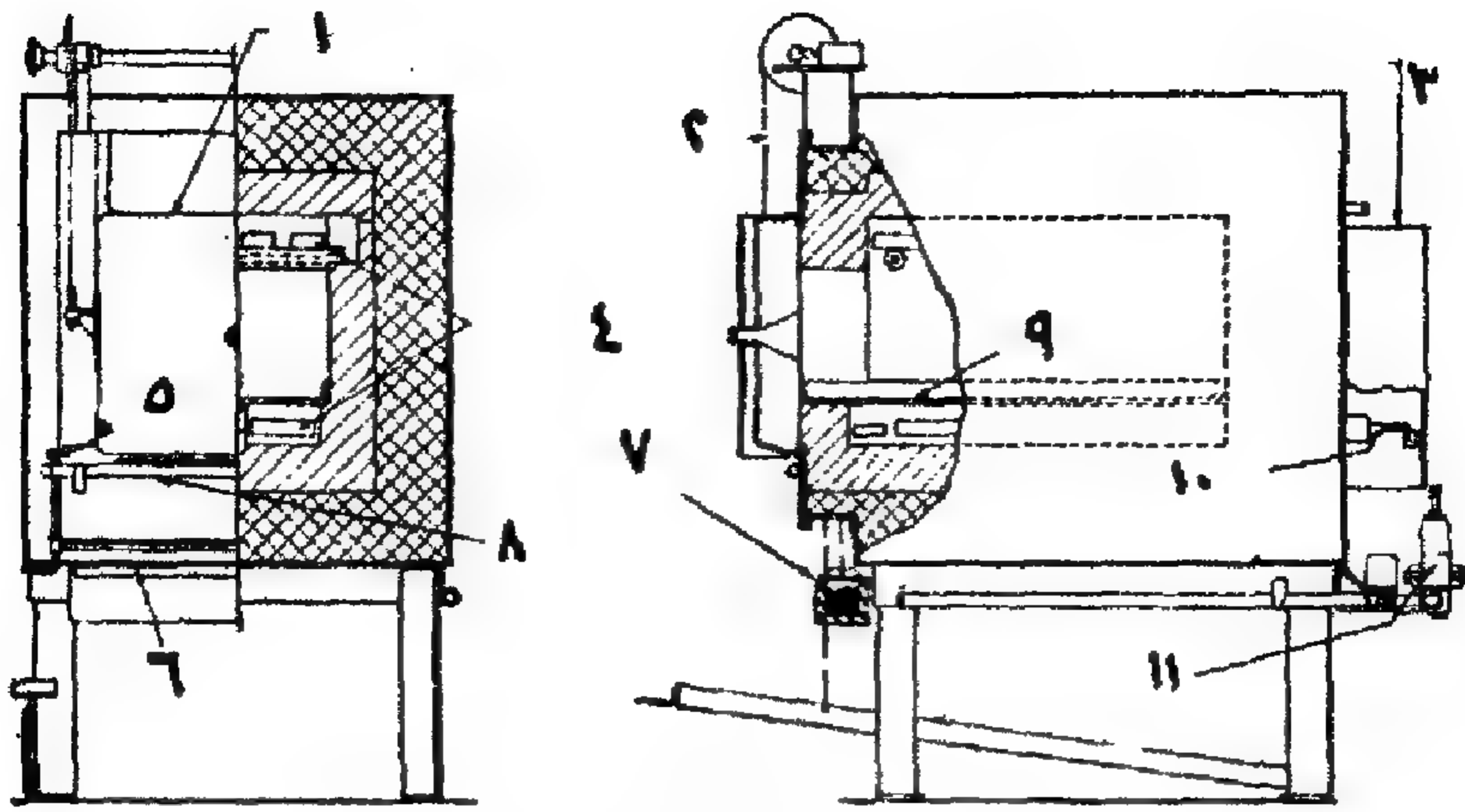
وتصنع وحدات التسخين المستخدمة في أفران التسخين بالمقاومة من شرائط معدنية ، أو قضبان فلزية كسبائك الفولاذ مع النيكل والكروم ، كما تصنع من مواد لا فلزية مثل كربيد السليكون ، الذي يصنع عادة على هيئة قضبان مستديرة المقطع .

ولتصميم عناصر التسخين المعدنية أهمية كبيرة ، ولذلك فهو يتضمن كيفية تحميلها ، ووضعها والمسافات الفاصلة بينها ، وسمك المادة التي تستخدم في صنع هذه العناصر ، وكمية الحرارة المبذولة لوحدة المساحات .

ويتحدد عمر عناصر التسخين إلى حد بعيد ، بالسمك ، وبأقصى درجة حرارة تصل إليها .
أنواع الأفران : توجد عدة أنواع نمطية من الأفران ، تتوقف الاختلافات جذريا على متطلبات شحن المشغولات المعدنية في الفرن وتفريغها .

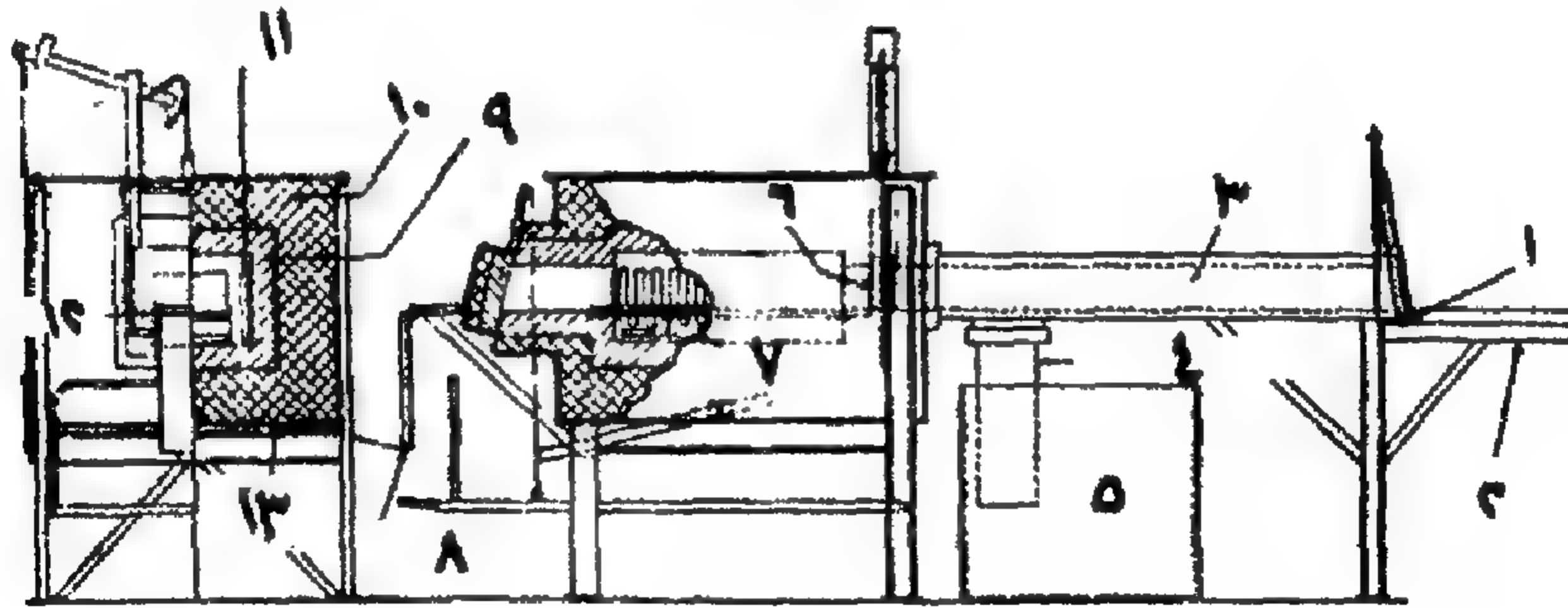
ويتوقف اختيار سعة ونوع الفرن لتطبيق معين ، بصفة مبدئية على عمليات التسخين المطلوبة ، ومعدل الإنتاج المتوقع . ومن أشهر هذه الأفران الطرز الآتية :

١ - فرن ذو صندوق : (الشكلان ٩٤ ، ٩٥) ويشتمل هذا الطرز من الأفران على غرفة تسخين على هيئة صندوق ، له باب واحد أو بابان متقابلان كما يشتمل على حجرة تعلق فيها المشغولات المطلوب تسخينها . وقد يزود هذا الطراز من الأفران بغرفة تبريد ، كما قد تلحق به مروحة تساعد على التسخين بالحمل القسري للهواء الساخن . ويجرى شحن وتفريغ القطع التي يراد معاملتها يدويا ، وقد تشحن كل قطعة على حدة ، أو تشحن كلها دفعة واحدة في وعاء مناسب .



شكل (٩٤) فرن ذو صندوق

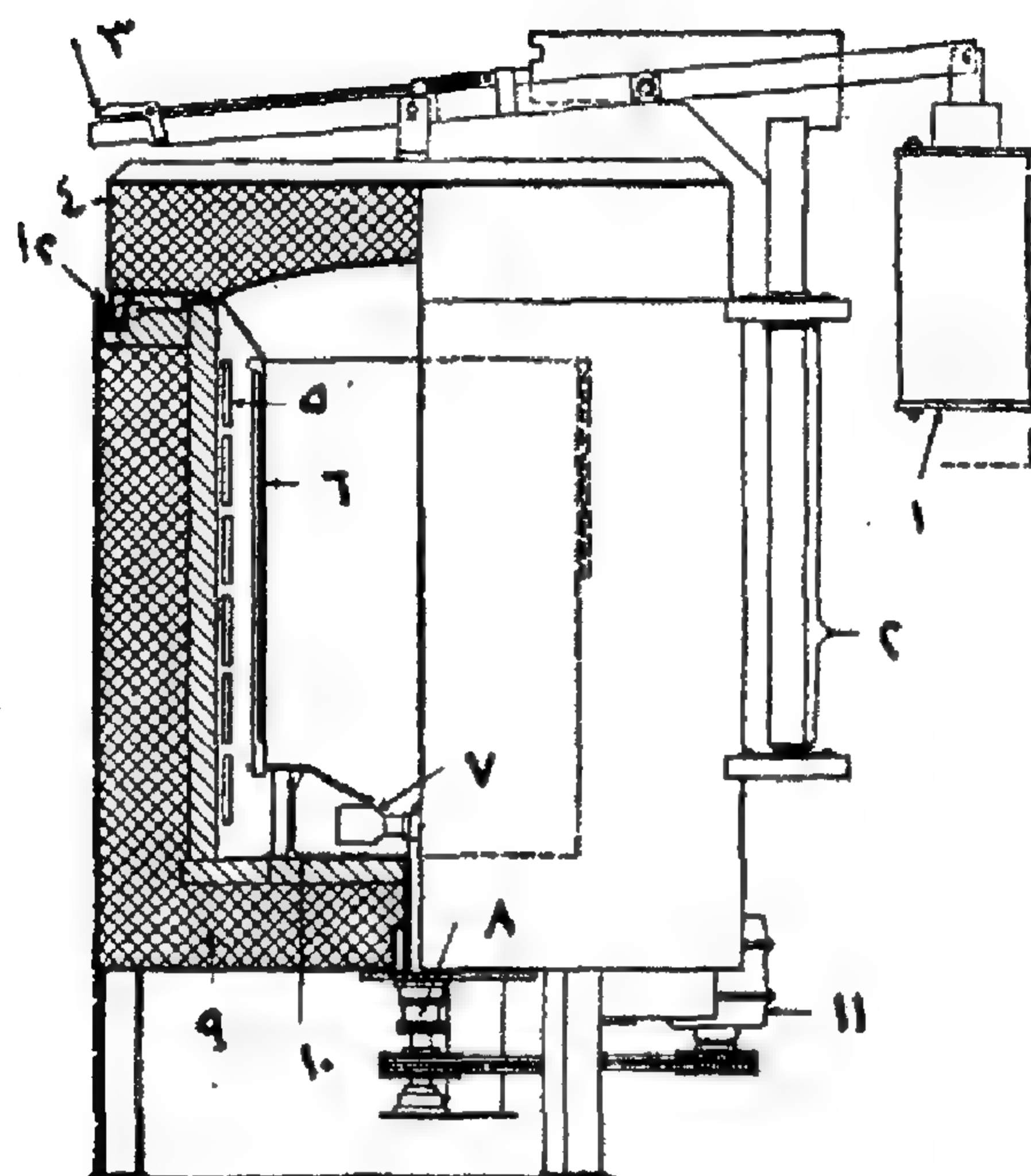
- | | |
|---|--|
| ١ - باب معزول حراريا ومصنوع من الحديد المصبوب | ٢ - سلسلة ذات دلفينات |
| ٣ - حاجز وقاية طرفي | ٤ - عناصر التسخين |
| ٥ - إضاءة | ٦ - غلاف فولاذي لمنع تسرب الغاز |
| ٧ - ثقل موازن لضبط الباب | ٨ - ستارة المشعل |
| ٩ - قاعدة المجمرة | ١٠ - مانعات تسرب الغاز من خلال عناصر التسخين |
| ١١ - جهاز خلط الهواء مع الغاز | |



شكل (٩٥) فرن ذو صندوق وتلحق به غرفة تبريد

- | | |
|---------------------------|-------------------------|
| ١ - ستارة المشعل | ٢ - نفد التفريغ |
| ٣ - غرفة التبريد | ٤ - مسقط لتسقية |
| ٥ - حوض التسقية | ٦ - الباب المركزي |
| ٧ - عناصر التسخين الأرضية | ٨ - نفد الشحن |
| ٩ - حراريات عازلة | ١٠ - مواد عازلة للحرارة |
| ١١ - عناصر تسخين | ١٢ - لضبان |
| ١٣ - دثار لمنع تسرب الغاز | |

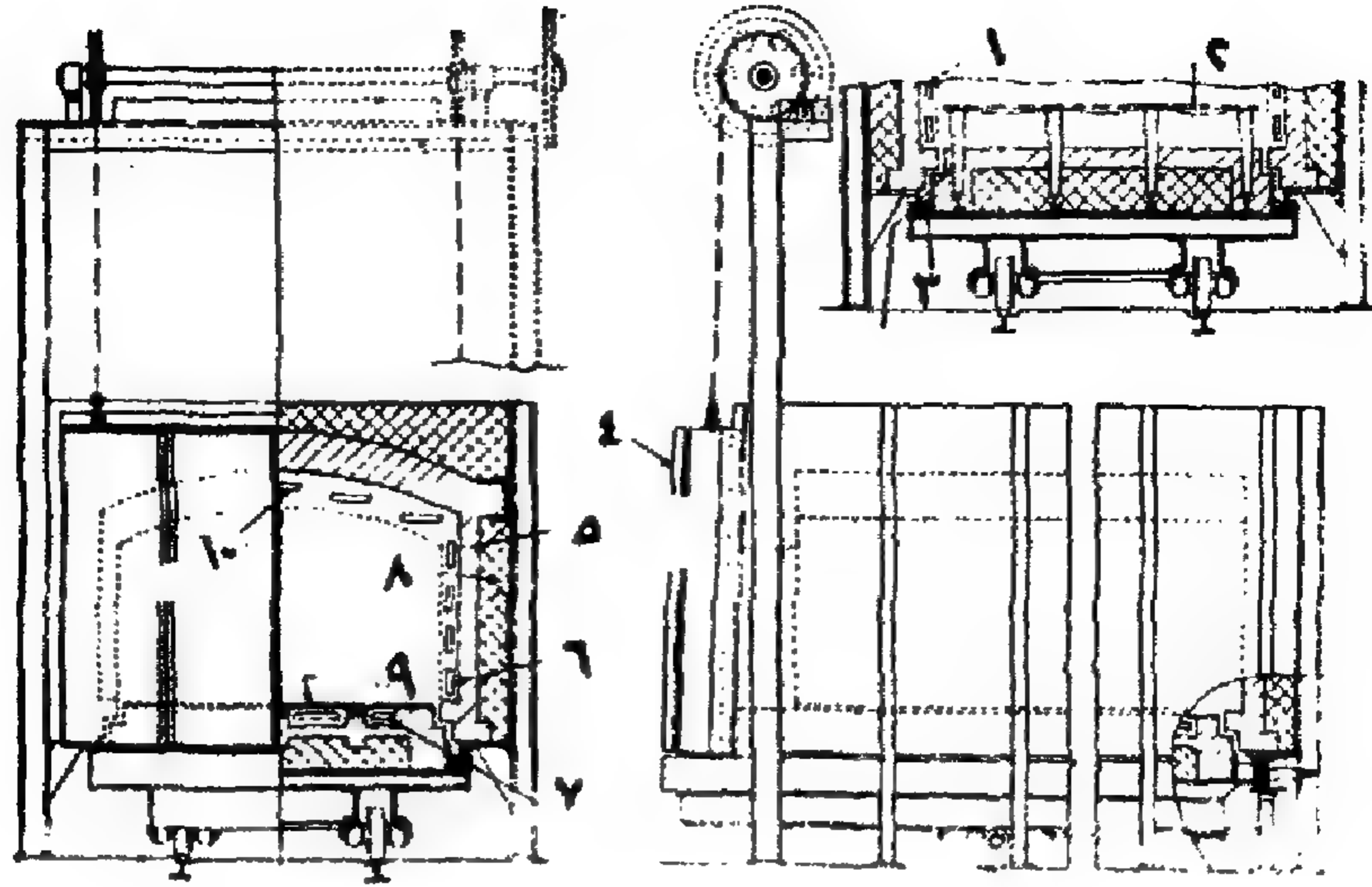
٢ - فرن ذو جب : (الشكل ٩٦) قد يكون هذا النوع من الأفران على شكل أسطوانى ، أو على شكل متوازى مستطيلات ، وله فتحة بأعلى ، وله غطاء معزول حراريا . وقد تجهز بجمرة الفرن بمروحة عند قته أو بأسفله عند القاع ، تعمل على سرعة التسخين بتيارات الحمل القسرية . وتحمل المشغولات التى يراد معاملتها حراريا على عارضة عند القاع ، أو قد تعلق من سقف الفرن .



شكل (٩٦) فرن ذو جب

- | | |
|-----------------------|--------------------------|
| ١ - ثقل موازن للغطاء | ٢ - محامل صامدة للإحتكاك |
| ٣ - ذراع تشغيل الغطاء | ٤ - غطاء |
| ٥ - عناصر التسخين | ٦ - عارضة |
| ٧ - مروحة | ٨ - محمل ومبيت المحمل |
| ٩ - عازل | ١٠ - طوب حرارى عازل |
| ١١ - موتور | ١٢ - مانع التسرب |

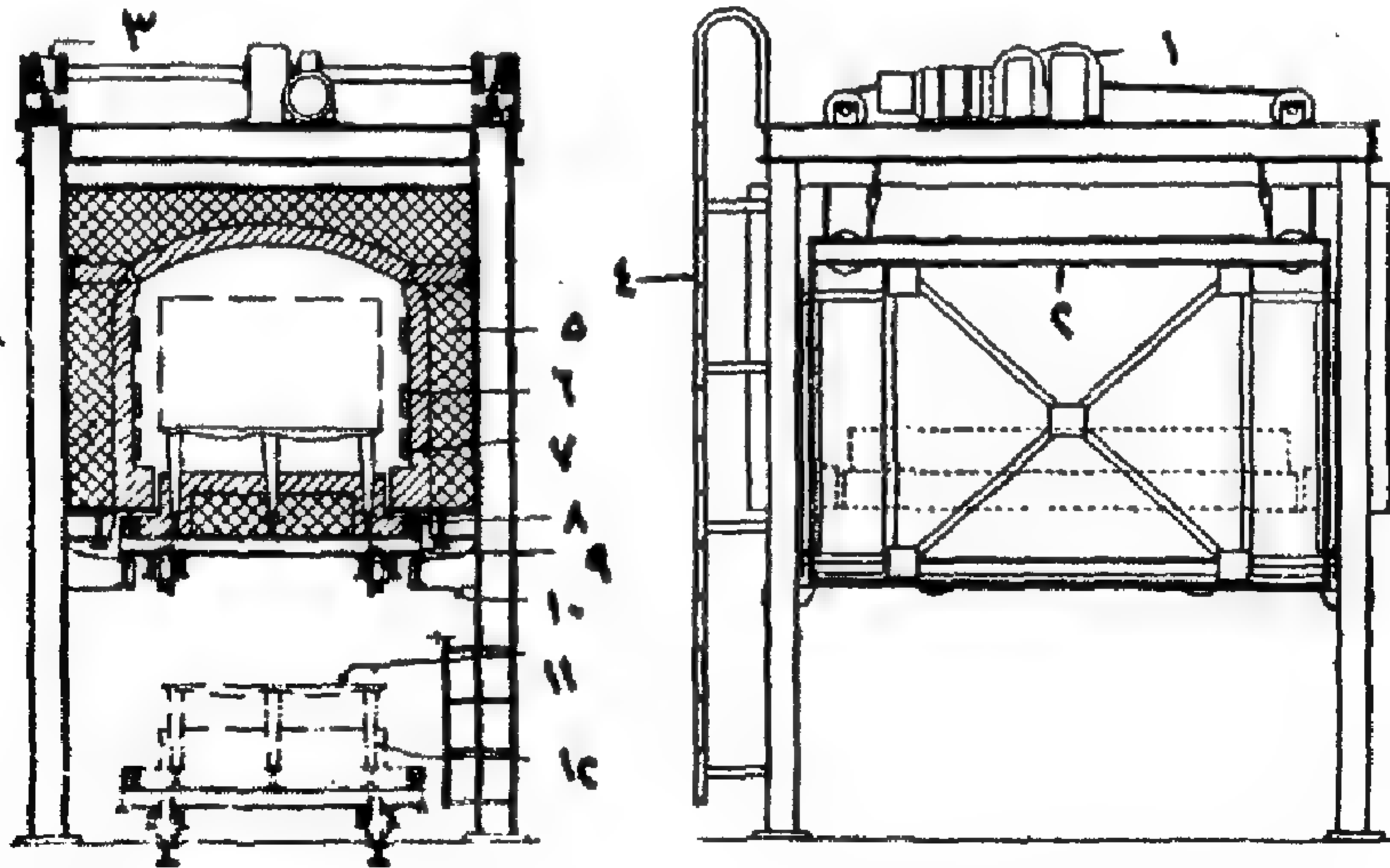
٣ - فرن ذو عربة : (الشكل ٩٧) يتألف الفرن ذو العربة أساسا من صندوق ضخم ، وترتفع بجمرته على عجلات تمكنها من الحركة لشحن وتفريغ المشغولات التى يراد تسخينها .



شكل (٩٧) فرن ذو غرفة

- | | |
|------------------------|-------------------------------|
| ١ - عناصر التسخين | ٢ - عجمرة |
| ٣ - مانع التسرب | ٤ - باب |
| ٥ - حراريات عازلة | ٦ - عناصر تسخين معلقة بالحائط |
| ٧ - غرفة عناصر التسخين | ٨ - مادة عازلة |
| ٩ - ألواح العجمرة | ١٠ - عناصر التسخين العلوية |

٤ - فرن رافع : (الشكل ٩٨) يصمم الفرن الرافع عادة على شكل متوازي مستطيلات ،



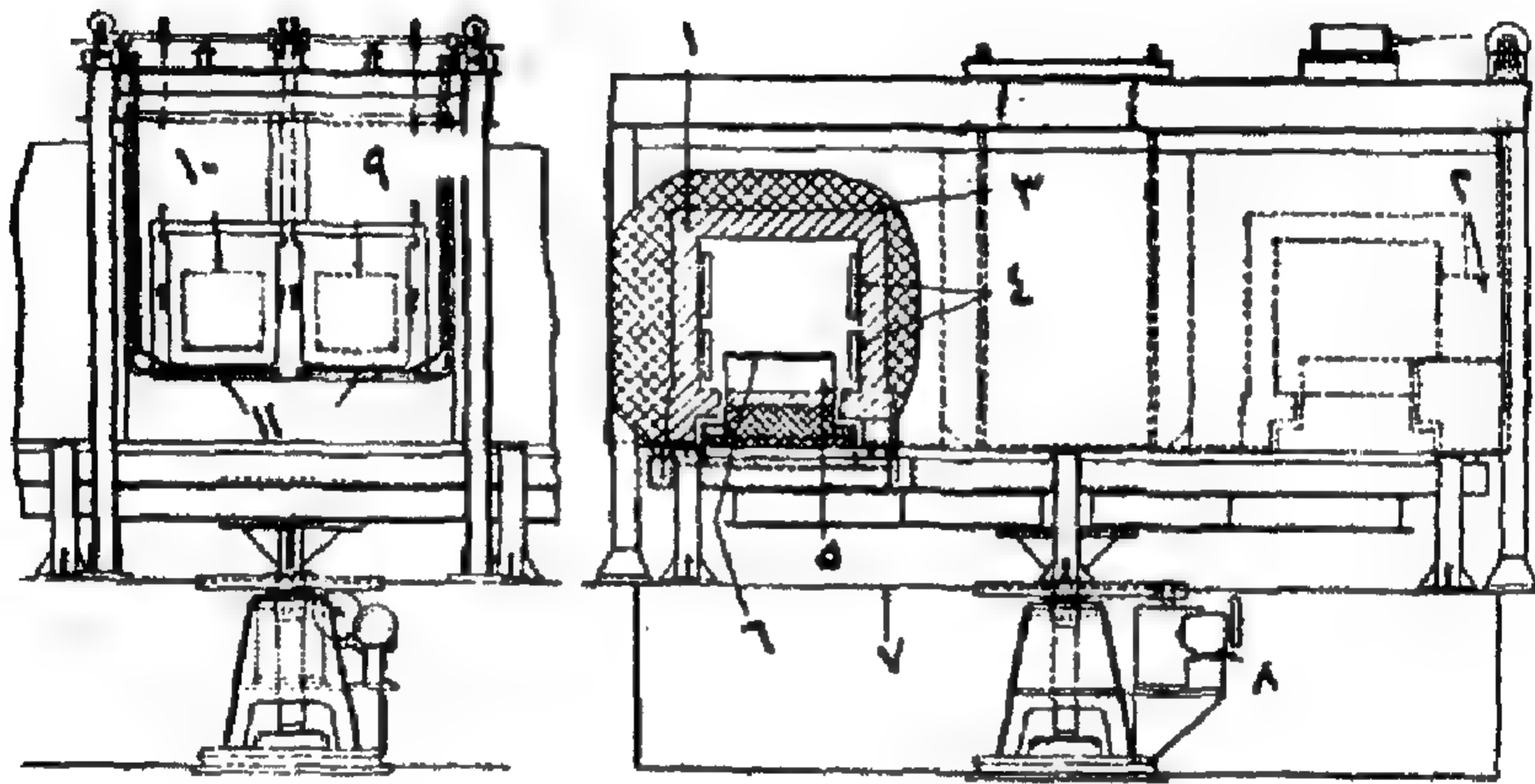
شكل (٩٨) فرن رافع

- | | | | |
|----------------|-------------------|-----------------------|------------------|
| ١ - ونش رافع | ٢ - رافع | ٣ - اسطوانة ونش الرفع | ٤ - سلم |
| ٥ - مادة عازلة | ٦ - عناصر التسخين | ٧ - حراريات عازلة | ٨ - مانع التسرب |
| ٩ - غرفة | ١٠ - رافع | ١١ - منصة الشحن | ١٢ - دعائم تقوية |

وفي بعض الأحيان ، يصمم على هيئة أسطوانة . وقد يزود بمروحة أو مجموعة من المراوح التي تساعد على سرعة التسخين بتيارات الحمل القسرى . وتحمل المشغولات على عربة ، حيث ترفع إلى داخل غرفة التسخين ، وفي نفس الوقت تنزل عربة أخرى بمشغولات جرى تسخينها .

ويزود الفرن بحوض أسفله يحوى كمية من الماء ، لأغراض التسخية السريعة لمشغولات الألومنيوم الساخنة .

٥ - فرن ذو مجمرة دوارة : (الشكل ٩٩) تصمم مجمرة هذا الفرن على شكل حلقة كبيرة ، وتتمكن من الدوران حول محورها داخل غرفة التسخين . وقد يزود الفرن بمروحة تساعد على سرعة التسخين بتيارات الحمل القسرى .



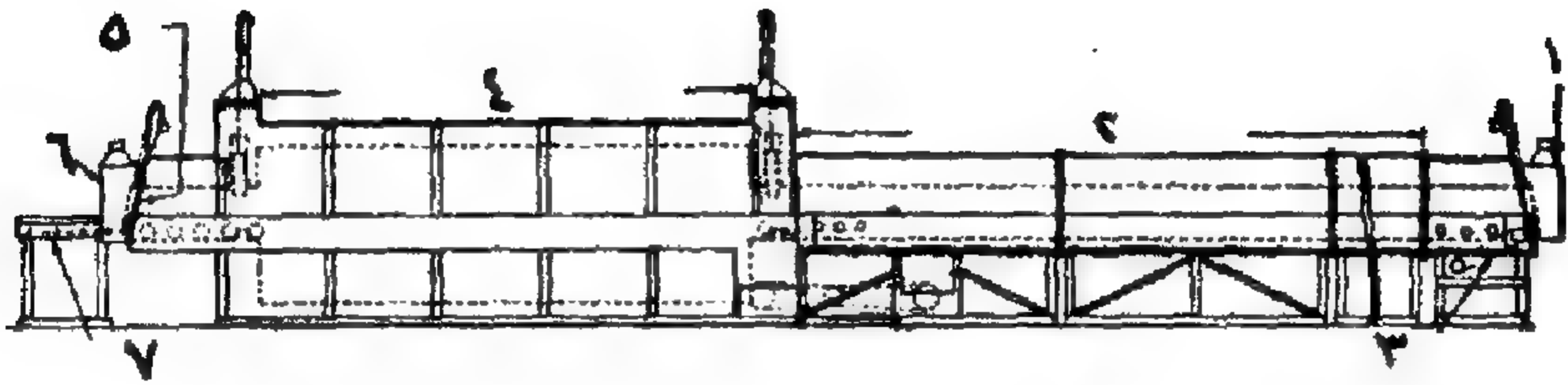
شكل (٩٩) فرن ذو مجمرة دوارة

- | | |
|-------------------|-------------------|
| ١ - حراريات عازلة | ٢ - باب |
| ٣ - مادة عازلة | ٤ - عناصر التسخين |
| ٥ - دعامة المجمرة | ٦ - مجمرة دوارة |
| ٧ - عطف الأرضية | ٨ - آلية إدارة |
| ٩ - بوابة التفريغ | ١٠ - بوابة الشحن |
| ١١ - غطاء الشعلة | |

٦ - فرن ذو مجمرة دحروجية : (الشكل ١٠٠) نوع من الأفران المستمرة ذات الناقل ويتألف ناقله من حصيرة من دلفينات دحروجية متجاورة ، تصنع من سبيكة تصمد أمام درجات الحرارة العالية . ولتسخين المشغولات ، فإنه يجري شحنها مباشرة على الحصيرة التي تتألف من الدلفينات الدحروجية . ويناسب هذا الفرن المشغولات التي تكون على هيئة مواير وقضبان ، وغيرها من المشغولات الكبيرة الحجم نسبياً .

ويتم شحن الفرن وتفرينه ، ونقل المشغولات بسرعة من قدم إلى آخر خلال الفرن أوتوماتيكيا وقد يزود الفرن بغرف تبريد ، وحوض للتسقية ، كما قد يزود بمروحة أو أكثر لتيسير عملية التسخين بواسطة تيارات الحمل القسرية .

ويتفوق هذا النوع من الأفران على غيره من الأنواع الأخرى ببساطة تصميمه ، وقلة نفقات صيانتة ، وانخفاض تكاليف تشغيله .



شكل (١٠٠) فرن ذو مجمرة دحرجية

- | | | | | | |
|-----|-------------|-----|--------------|-----|--------------------|
| ١ - | غطاء العادم | ٢ - | غرفة تبريد | ٣ - | آلية إدارة التفريغ |
| ٤ - | غرفة تسخين | ٥ - | بوابة الدخول | ٦ - | غطاء العادم |
| | | | | ٧ - | نضد الشحن |

ثانياً : أفران التسخين بواسطة مصهور لأحد الأملاح :

يتم انتقال الحرارة - خلال مصهور لأحد الأملاح بحري اختياره بحيث تلائم نقطة انصهاره درجة الحرارة التي يراد الوصول إليها - من مصدر التسخين إلى قطع المشغولات بواسطة تيارات الحمل أساساً . ولما كانت تيارات الحمل سريعة ، والسعة الحرارية لمصهور الملح كبيرة ، لذلك فإن معدل تسخين المشغولات يكون محدوداً من الناحية العملية كما أن طبقة رقيقة منه سوف تتجمد تواءمًا، مغلقة كل سطح المشغولة . ولكنها سرعان ما تنصهر مرة أخرى ، إذ أن درجة حرارة مصهور الملح تكون أعلى كثيراً من نقطة انصهاره .

وتمتاز أفران التسخين بمصهور الملح عن أفران التسخين بالمقاومة الكهربائية ، بسرعة التسخين ، خاصة عند درجات الحرارة العالية التي تتم عندها عناصر المعاملة الحرارية ، إذ تكون معدلات التسخين في مصهور الملح أربعة أمثال معدلات التسخين في أفران المقاومة في وسط غازي .

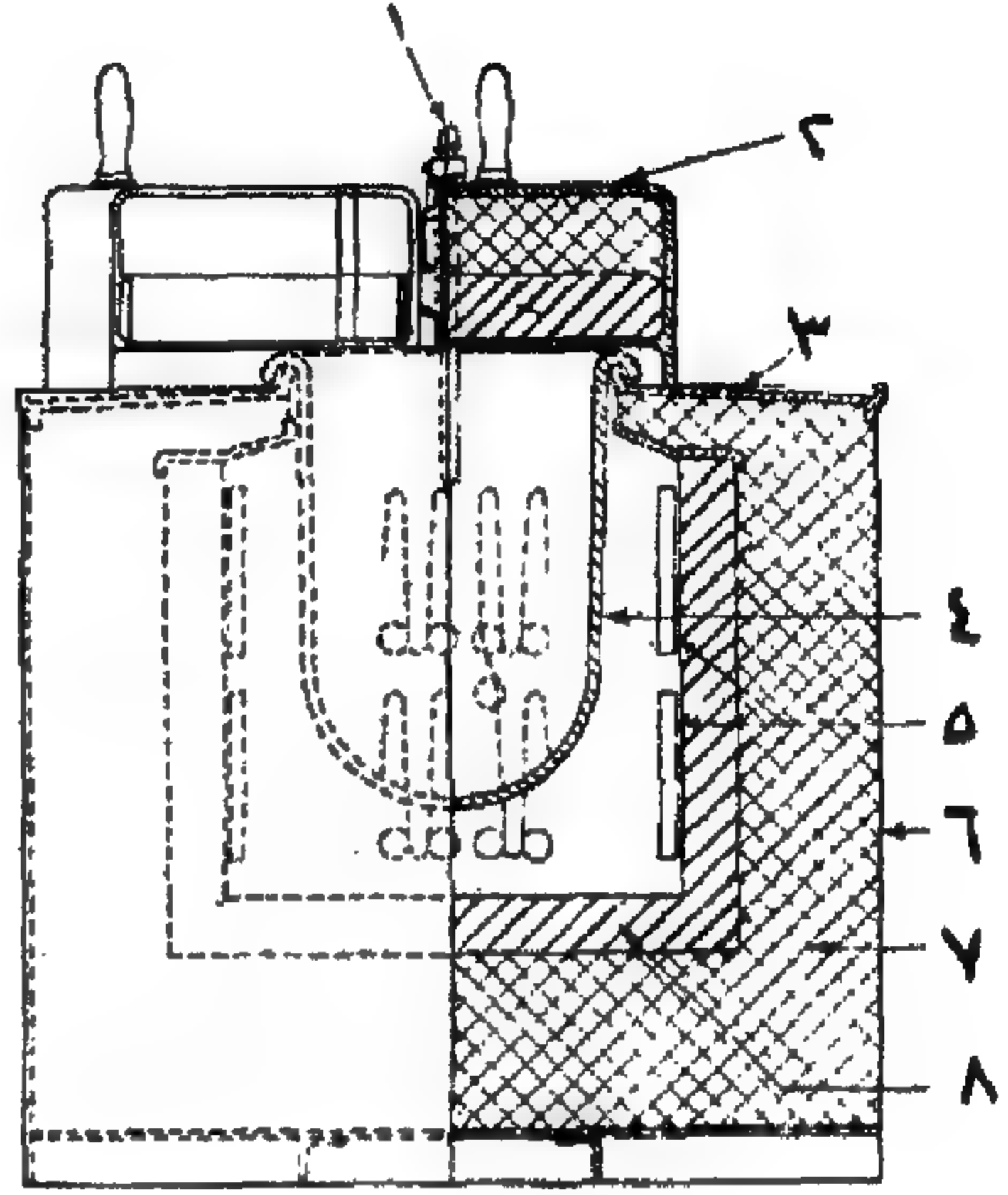
ومن أمثلة أفران التسخين بواسطة مصهور لأحد الأملاح :

١ - فرن بعناصر تسخين خارجية : (الشكل ١٠١) تقام عناصر التسخين بالمقاومة على جدران هذا النوع من الأفران ، حيث تشع الحرارة إلى الجدار الخارجى لوعاء التسخين .
ويجب أن يصنع وعاء التسخين من سبيكة تصمد أمام درجات الحرارة العالية ، حتى يقوم بتوصيل الحرارة من عناصر التسخين إلى مصهور الملح بكفاءة .

شكل (١٠١)

فرن بعناصر تسخين خارجية :

- ١ - مزدوجة حرارية
- ٢ - غطاء من الحديد المصبوب
- ٣ - دعامة للغطاء من الحديد المصبوب
- ٤ - وعاء من سبيكة خاصة
- ٥ - عناصر التسخين
- ٦ - غلاف فولادى
- ٧ - مادة عازلة
- ٨ - حراريات عازلة



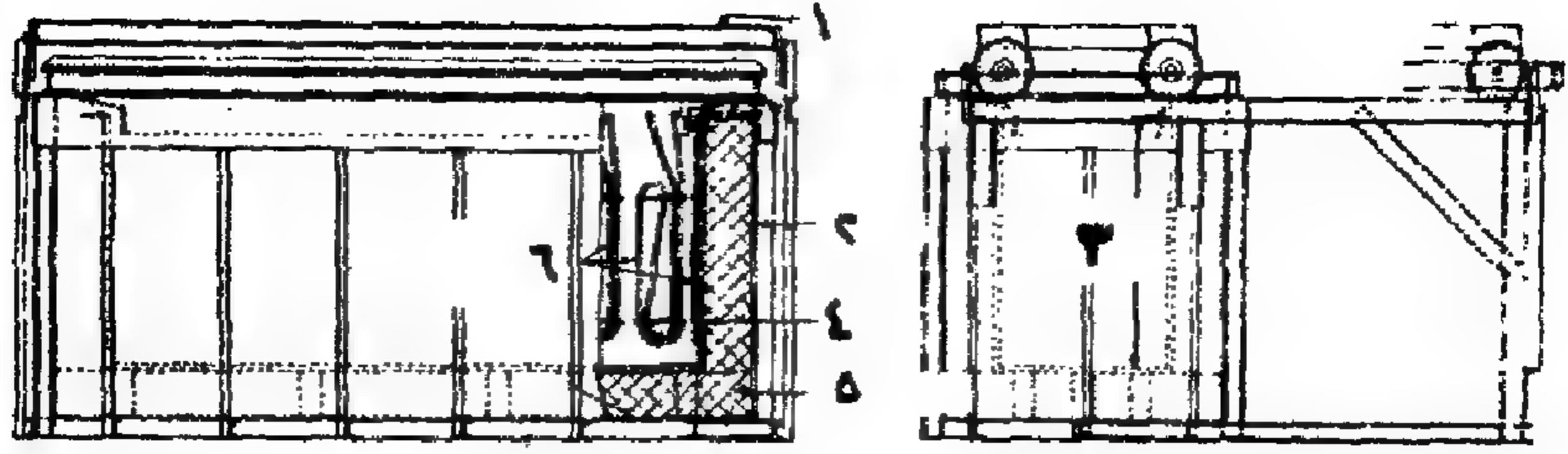
٢ - فرن بعناصر تسخين مغمورة : (الشكلان ١٠٢ ، ١٠٣)

يجرى تسخين هذا النوع من الأفران بواسطة سخانات مغمورة ، تتألف من أسلاك مقاومة مغمورة في حراريات عازلة ، وتكسوها كلها طبقة معدنية . وتتدرج الحرارة بين قيمتها القصوى والدنيا من عناصر التسخين ، إلى الطبقة المعدنية .

وتستخدم عناصر التسخين المغمورة لرفع درجة حرارة مصهور الملح حتى درجة حرارة ٥٧٠°م ، وتصنع أوعية احتواء المشغولات التي يراد تسخينها عادة من الفولاذ ، وتوضع مادة عازلة مناسبة بين جدران الوعاء والجدار الخارجى .

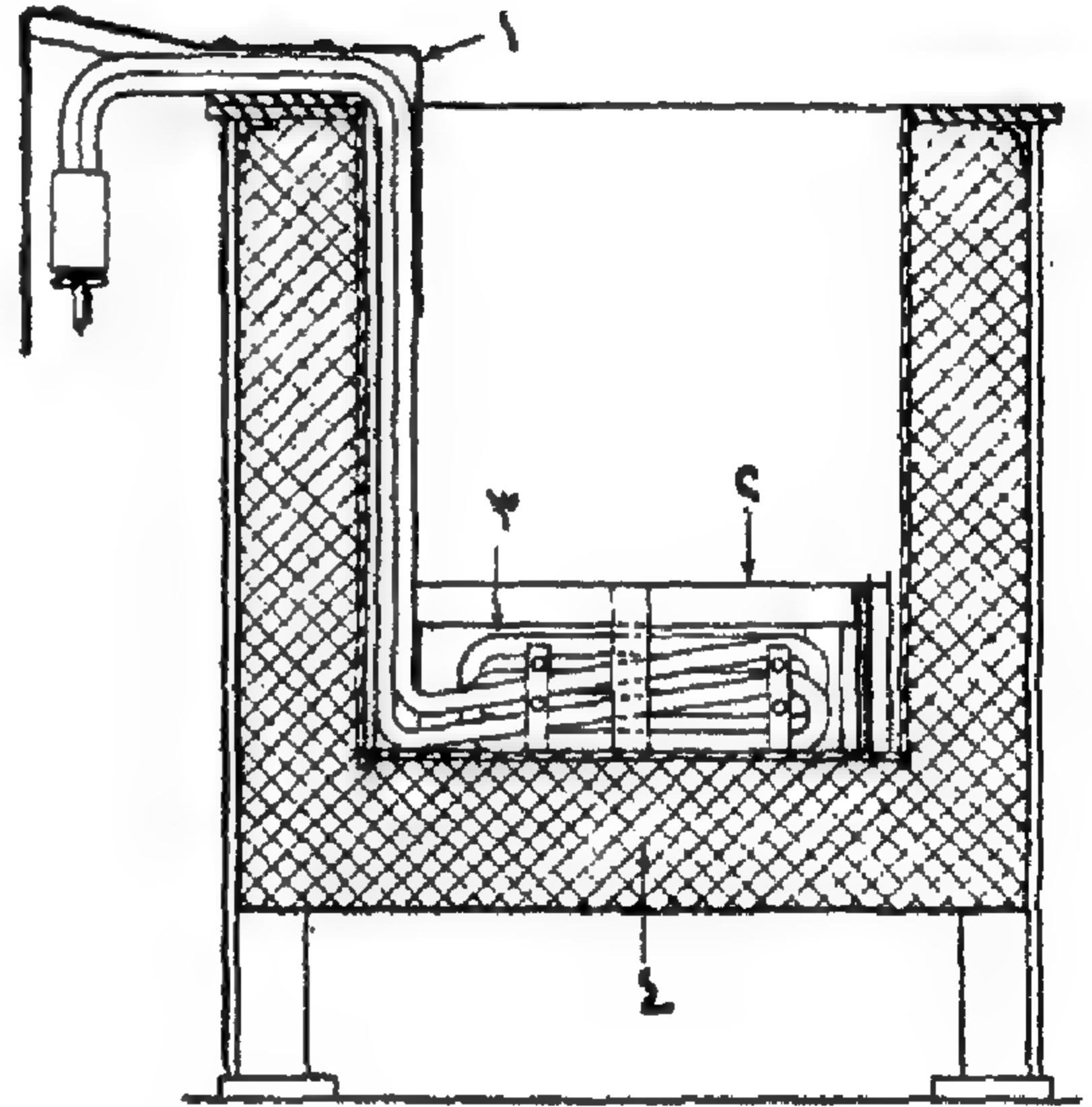
٣ - فرن بالكثود مغمور :

يعتبر هذا الطراز من أفران التسخين بواسطة مصهور ملهى ، أقدم الأفران الكهربائية استخداما في أغراض المعاملة الحرارية ، حيث ظهر إلى حيز التطبيق في حوالى عام ١٩٠٦ . وبالرغم من أن جميع الأملاح عوامل عازلة جيدة للكهرباء في الحالة الصلبة ، إلا أنها تصبح جيدة التوصيل للكهرباء عندما تكون في حالة الانصهار . ولذلك تستغل هذه الخاصية الكهربائية



شكل (١٠٢) فرن بعناصر تسخين مغمورة

- | | |
|-----------------------|------------------------|
| ١ - غطاء معزول حراريا | ٢ - غلاف فولاذي |
| ٣ - عمق الحوض | ٤ - حوض التسخين |
| ٥ - طبقة عازلة حراريا | ٦ - عناصر تسخين مغمورة |



شكل (١٠٣) فرن بعناصر تسخين مغمورة

- | |
|------------------------|
| ١ - عارضة للوقاية |
| ٢ - حاجز ذو قضبان |
| ٣ - عناصر تسخين مغمورة |
| ٤ - طبقة عازلة |

عند تشغيل الفرن ذي الإلكترود المغمور . وعند التشغيل تنخفض فلطية التيار الكهربائي العادي الذي يبلغ ٢٢٠ - ٢٤٠ فلت إلى ٥ - ٢٥ فلت خلال محول كهربائي يقام إلى جدار الفرن ، ثم يسقط هذا التيار الكهربائي على الإلكترودات المغمورة في مصهور الملح ، فيتدفق تيار كهربائي متردد بأمبيرية عالية خلال الإلكتروليت الملحي ، حيث ترتفع درجة حرارته نتيجة لمقاومته تدفق التيار الكهربائي خلاله .

ومن الواضح أن مصهور الملح لا يتعرض كيميائيا نتيجة لتردد التيار الكهربائي ، ولذلك فلا يمكن استخدام التيار الكهربائي المستمر في هذه الحالة ، إذ سرعان ما يتحلل مصهور الملح إلى عناصره .

ومن الممكن استخدام مثل هذا الطراز من أفران التسخين ليعطي نطاقاً عريضاً من درجات الحرارة يمتد من ١٥٠ - ١٢٠٠°م استناداً إلى نوع الملح المستخدم ، ولذلك فهو مفيد لكثير من التطبيقات التي تشمل كثيراً من المعاملات الحرارية للعديد من الفلزات والسبائك المختلفة .

وللإلكتروودات المغمورة ثلاثة تصميمات مختلفة هي :

(أ) إلكتروودات معلقة وتتبع عن بعضها بعضاً ، شكل (١٠٣)

(ب) إلكتروودات مغمورة ، شكل (١٠٤)

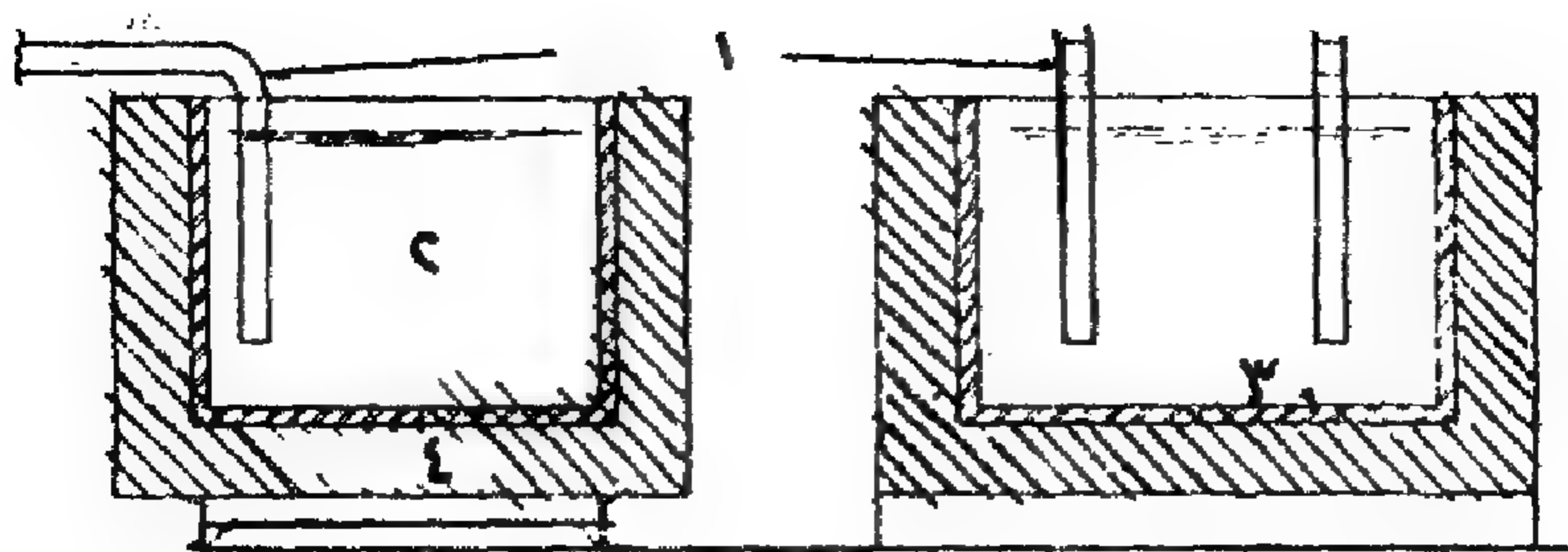
(ج) إلكتروودات معلقة ومتجاورة ، شكل (١٠٥)

وفي أقدم أنواع الأفران ذوات الإللكتروودات المغمورة ، كانت الإللكتروودات توضع على الجوانب المتقابلة في الحوض الذي يحوى مصهور الملح ، بحيث تكون معلقة من السقف وكان الحوض يصنع من مواد حرارية . وعند تدفق التيار الكهربائي ، من إلكتروود إلى آخر ، فإنه يتحمم مروره خلال الشحنة المعدنية (مشغولات الألومنيوم) ، مما ينشأ عنه متاعب جسيمة . ولما كانت الشحنة المعدنية أجود توصيلاً للكهرباء عن مصهور الملح ، فإنه نتيجة لذلك ترتفع كثافة التيار الكهربائي بطريقة غير عادية في المساحة التي يدخل منها التيار ويفادر فيها قطع المشغولات ، مما ينتج عنه تسخين مفرط ، قد يؤدي إلى انصهار جزئي ، بينما تظل درجة الحرارة لمصهور الملح نفسه ثابتة دون تغير .

وقد أمكن التغلب على العيب في تصميم الفرن ذي الإللكتروودات المغمورة ، حيث جرى صنع الوعاء الذي يحتوى على المشغولات من الفلز جيد التوصيل للكهرباء ، كما جرى رص الإللكتروودات على طول جدار واحد فقط من جدرانه (كما في الشكل ١٠٤) وبذلك يسرى التيار الكهربائي من الإللكتروود إلى جدار الوعاء ، ثم خلال الوعاء ، ثم يعبر الفجوة الممتلئة بمصهور الملح إلى الإللكتروود الآخر ، فنتفادى مريانه عبر شحنة المشغولات .

وفي تصميم الفرن ذي الإللكتروودات المعلقة متجاورة لبعضها بعضاً ، يستخدم وعاء مصنوع من مواد حرارية ، وتوابع الإللكتروودات خلال جدار الوعاء أو قرب قاع المصهور كما في الشكل (١٠٥) . وإذا كان عمق مصهور الملح في الحوض ضحلاً ، اقتصر تدفق التيار الكهربائي خلال المساحة الواقعة بين الإللكتروودين .

ولما كانت كل الحرارة المتولدة تنشأ عند قاع الحوض ، فإن تيارات دوامية من تيارات الحمل الحراري تنشأ خلال مصهور الملح نتيجة للتباين بين درجتي الحرارة أسفل وأعلى الحوض ، حيث تكون كثافتا المصهور مختلفتين .



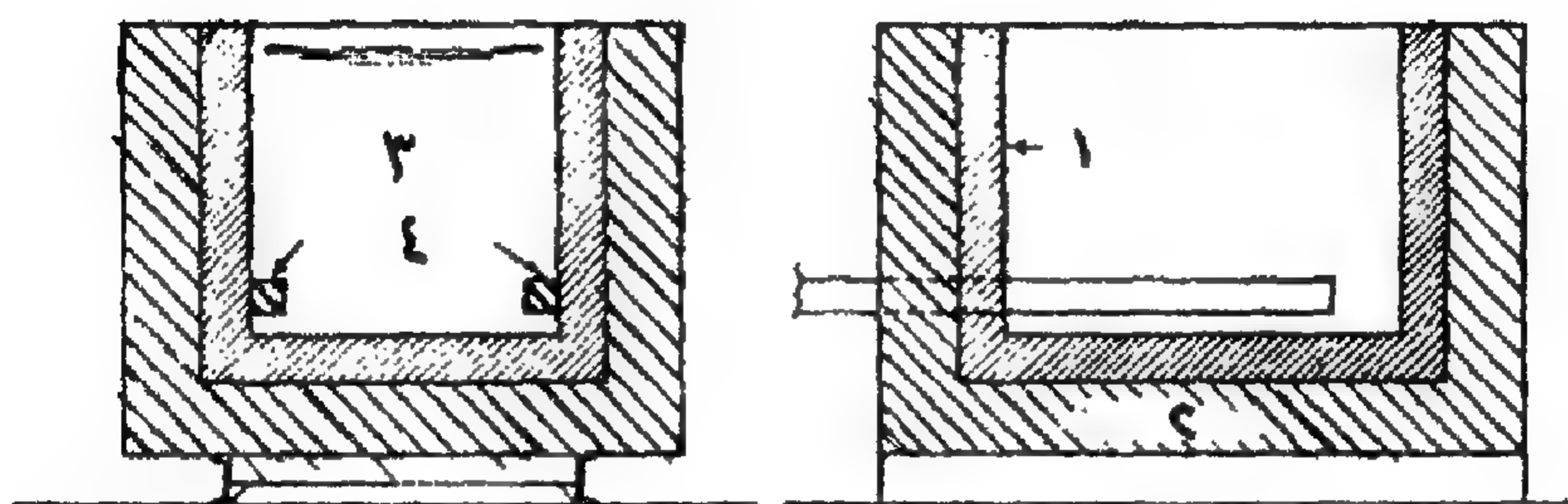
شكل (١٠٤) نموذج آخر لفرن بعناصر تسخين مغمورة

٢ - مصهور لأحد الأملاح

٤ - طبقة عازلة

١ - إلكتروودات

٣ - وعاء معدني



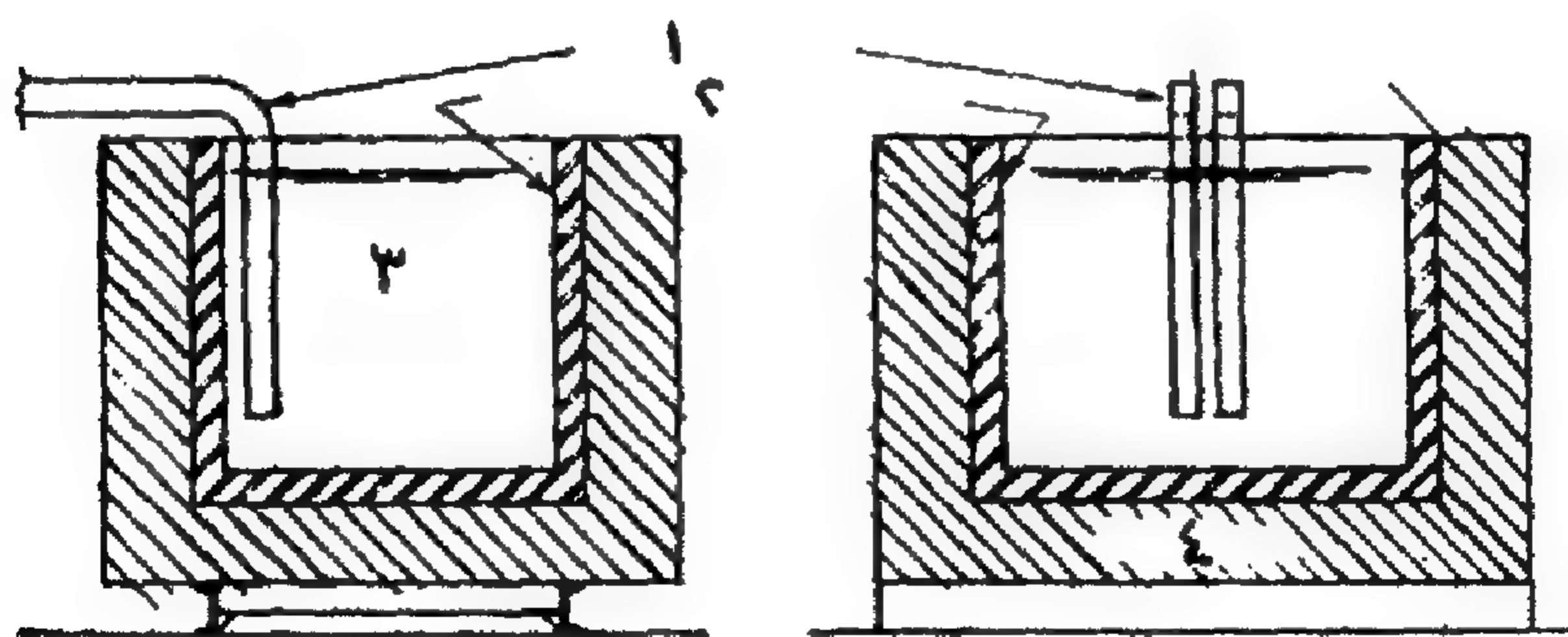
شكل (١٠٥) يبين الإلكتروودات المغمورة في فرن تسخين

٢ - طبقة عازلة

٤ - إلكتروودان

١ - وعاء حراري

٣ - مصهور لأحد الأملاح



شكل (١٠٦) فرن التسخين بالإلكتروودات مغمورة ، معلقة ومتجاورة

٢ - وعاء معدني أو حراري

٤ - طبقة عازلة

١ - إلكتروودان

٣ - مصهور لأحد الأملاح

وفي النوع الثالث من الأفران ذات الإلكتروودات المغمورة ، حيث يوضع الإلكتروودان معلقين ومتجاورين كما هو موضح في الشكل (١٠٦) ويصنع الوعاء من المعدن أو من مواد

حرارية . ولهذا الطراز من الأفران سمة خاصة مميزة ، إذ يتولد مجال كهرومغناطيسي عند سريان التيار الكهربائي ، ويستغل هذا المجال الكهرومغناطيسي في انتشار وتوزيع مصهور المعدن خلال حركة دورانية .

ويمكن شرح نظرية الانتشار بالحركة الدورانية للقوى الكهرومغناطيسية كما في الشكل (١٠٧) كما يلي :

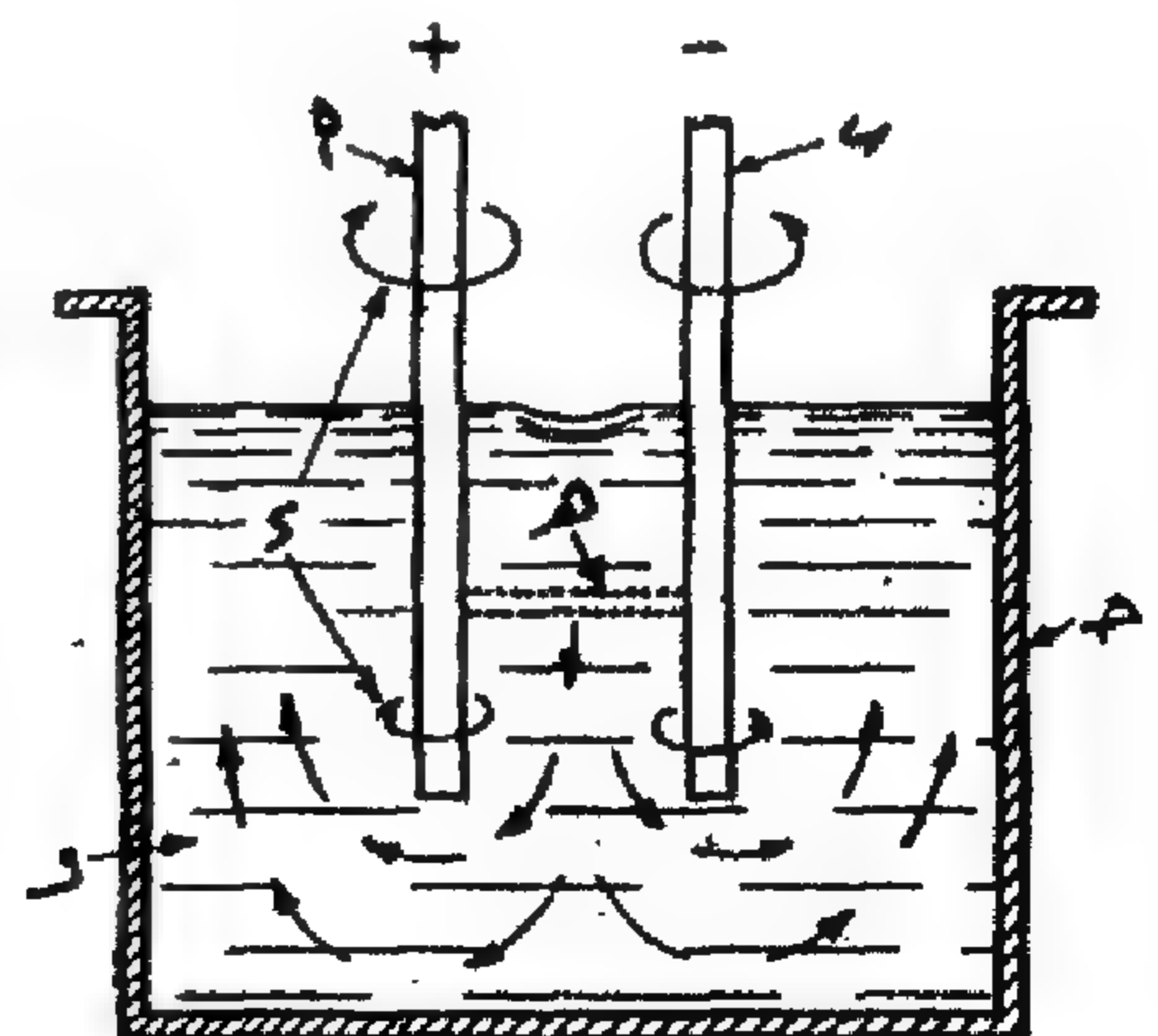
عند وضع موصل يحمل تيارا كهربائيا في مجال مغناطيسي ، فإن الموصل يميل إلى الحركة على زوايا قائمة (عموديا) مع اتجاه سريان التيار الكهربائي . وبتطبيق هذه القاعدة في حالة مصهور الملح : الإلكترودان أ ، ب مغموران عموديا ومتجاوران في مصهور الملح (و) يتدفق تيار كهربائي بأمبيرية عالية (٣٠٠٠ أمبير مثلا) خلالهما .

عندئذ يحاط كل الإلكترود بخطوط القوى (د) التي تكون على هيئة دائرية . ويتدفق تيار كهربائي بكفاءة عالية بين الإلكترودين عند جميع النقط من سطح المصهور إلى أطراف الإلكترودين .

وباعتبار عنصر ضئيل من التيار (هـ) ، بين الإلكترودين ، فإن التيار المنتقل عند أية لحظة من أ ، إلى ب مع المجال الكهرومغناطيسي الناشئ من الإلكترودين سوف يمتد خارج مستوى الشكل عند النقطة (هـ) ، ومن ثم يتعرض الموصل أو مصهور الملح الذي يحمل التيار الكهربائي لقوة تحركه في اتجاه أسفل الإلكترودين كما هو مبين بالسهم .

ومن الممكن التحكم في ضبط درجة حرارة مصهور الملح بالأجهزة المعتادة ، مثل المزدوجة الحرارية ، ووسائل التحكم الضوئية وغيرها .

وتصنع الإلكترودات من فلزات مختلفة كالحديد ، ومن الحديد الكرومي ، ومن سبائك الحديد والنيكل والكروم ، ويتوقف اختيارها على درجة حرارة انصهار الملح المستخدم ، والخواص الكيميائية لمصهور الملح .



شكل (١٠٧)

نظرية الانتشار بالحركة الدورانية للقوى
المغناطيسية في فرن بالكترودات مغمورة

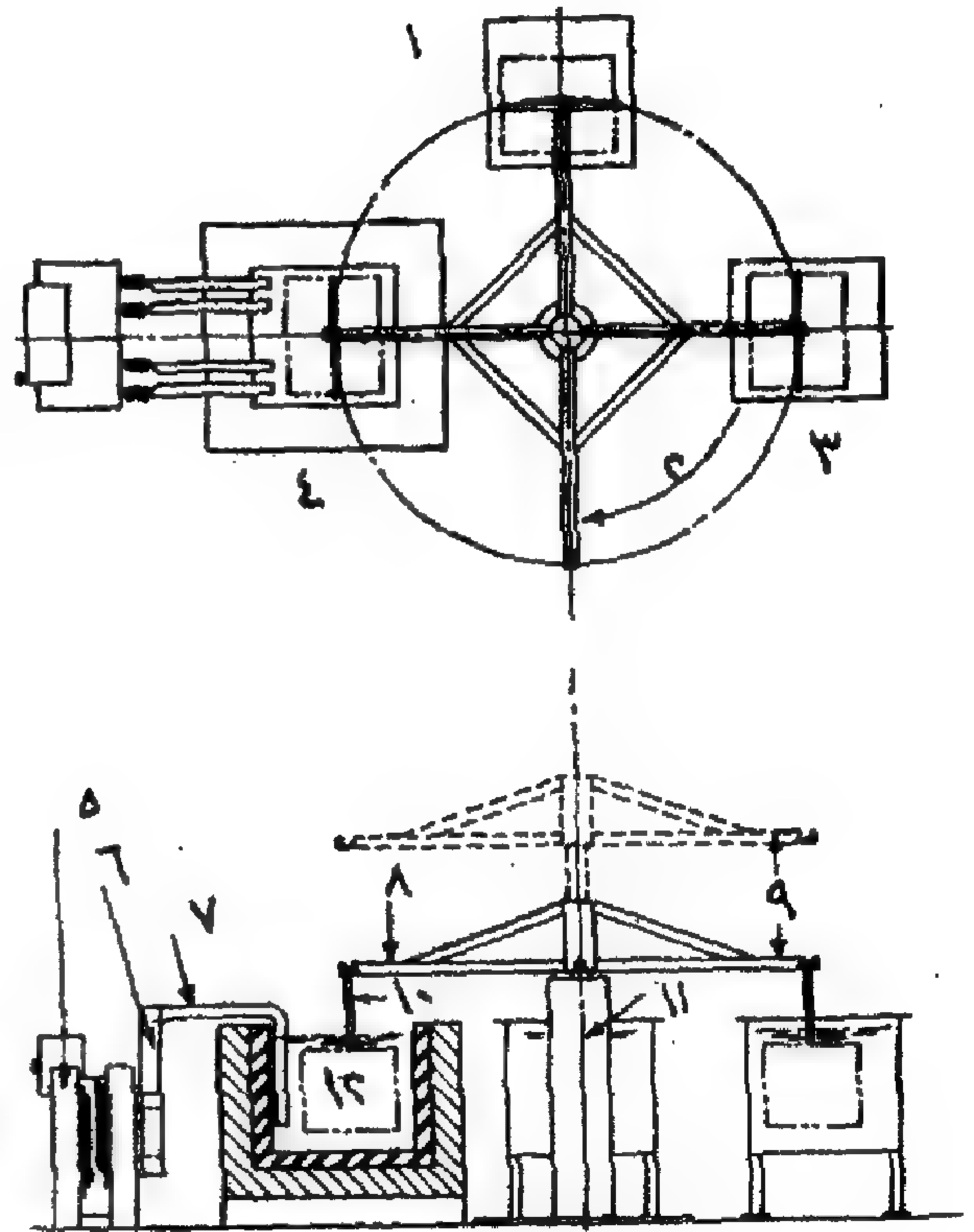
وعند تصميم الفرن ، يجب مراعاة أن تكون المساحة المكشوفة المعرضة للهواء الجوى أقل ما يمكن ، حتى يكون الفاقد من الحرارة أقل ما يمكن بقدر الإمكان .

ويتيح الفرن من نوع الإلكتروود المغمور ، تصميم حوض الملح بأي حجم وبأي شكل ، وبفضل تسخينه الداخلي ، تضمن عمرا أطول للحوض الذي يحتوى على مصهور الملح . وبفضل كل هذه العوامل مجتمعة ، بالإضافة إلى إمكانية توليد أية قدرة مطلوبة داخل الحوض ، لذلك فن المستصوب عمليا ميكنة مثل هذه الأفران ، بحيث يمكن تسخين المشغولات على سيور ناقلة بطريقة مستمرة . ومن هذه التصميمات ، ما جهز به الفرن الموضح بالشكل رقم (١٠٨) إذ تعلق المشغولات في خطافات مناسبة ، حيث تدور بواسطة جهاز يقام في مركز دائرة ، بها حوضان أو أكثر تحوى أملاحا منصهرة أو أوساط تسقية مناسبة .

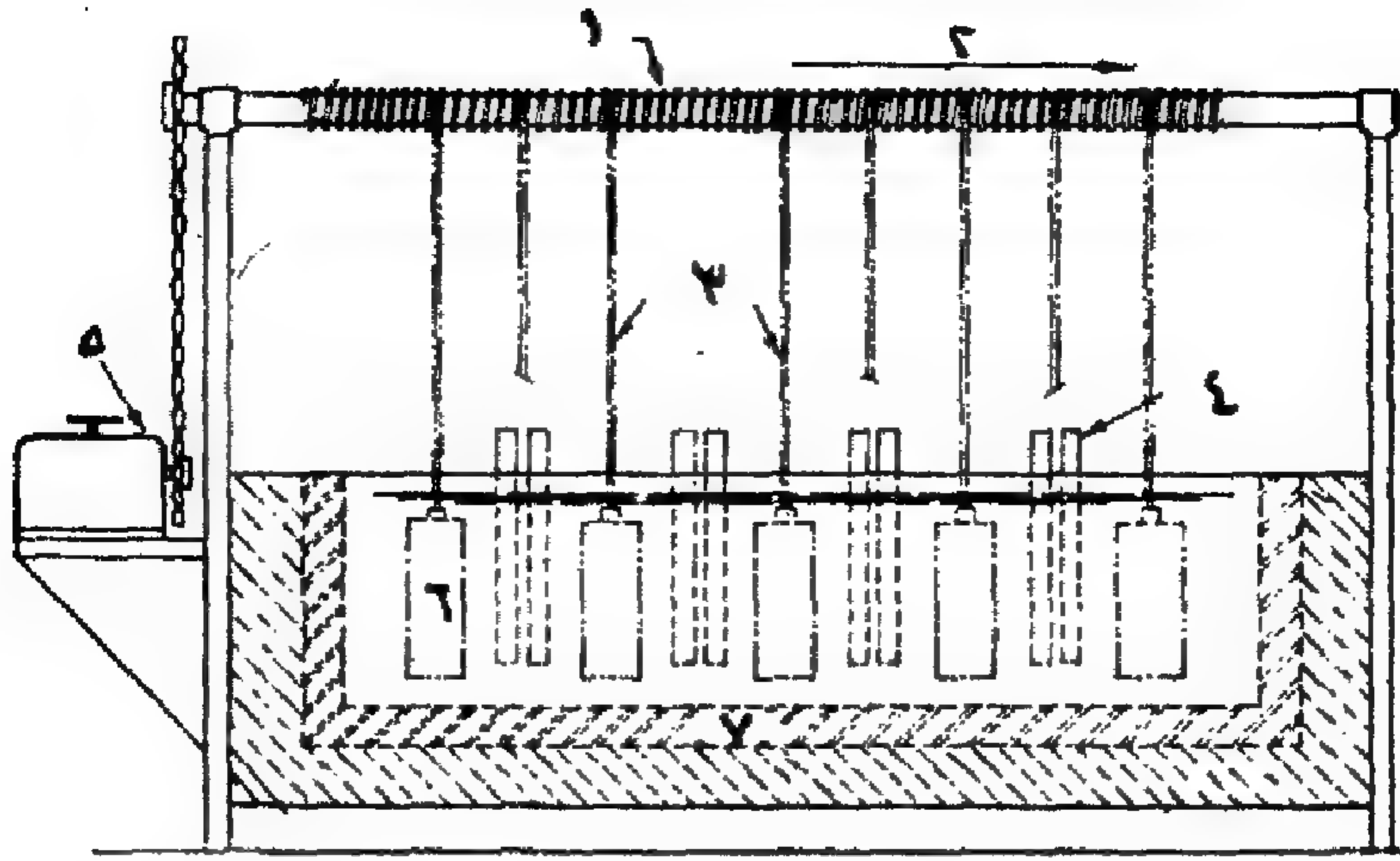
شكل (١٠٨)

تصميم حديث لفرن بالكثروودات مغمورة :

- ١ - حوض تسقية
- ٢ - اتجاه الحركة
- ٣ - حوض غسيل
- ٤ - مصهور ملحى
- ٥ - محول كهربائى
- ٦ - قضبان عمومية
- ٧ - إلكتروودات
- ٨ - آلية النقل
- ٩ - مقدار رفع آلية النقل
- ١٠ - عمود تثبيت الشغلة
- ١١ - آلية الرفع إلى أعلا
- ١٢ - الشغلة

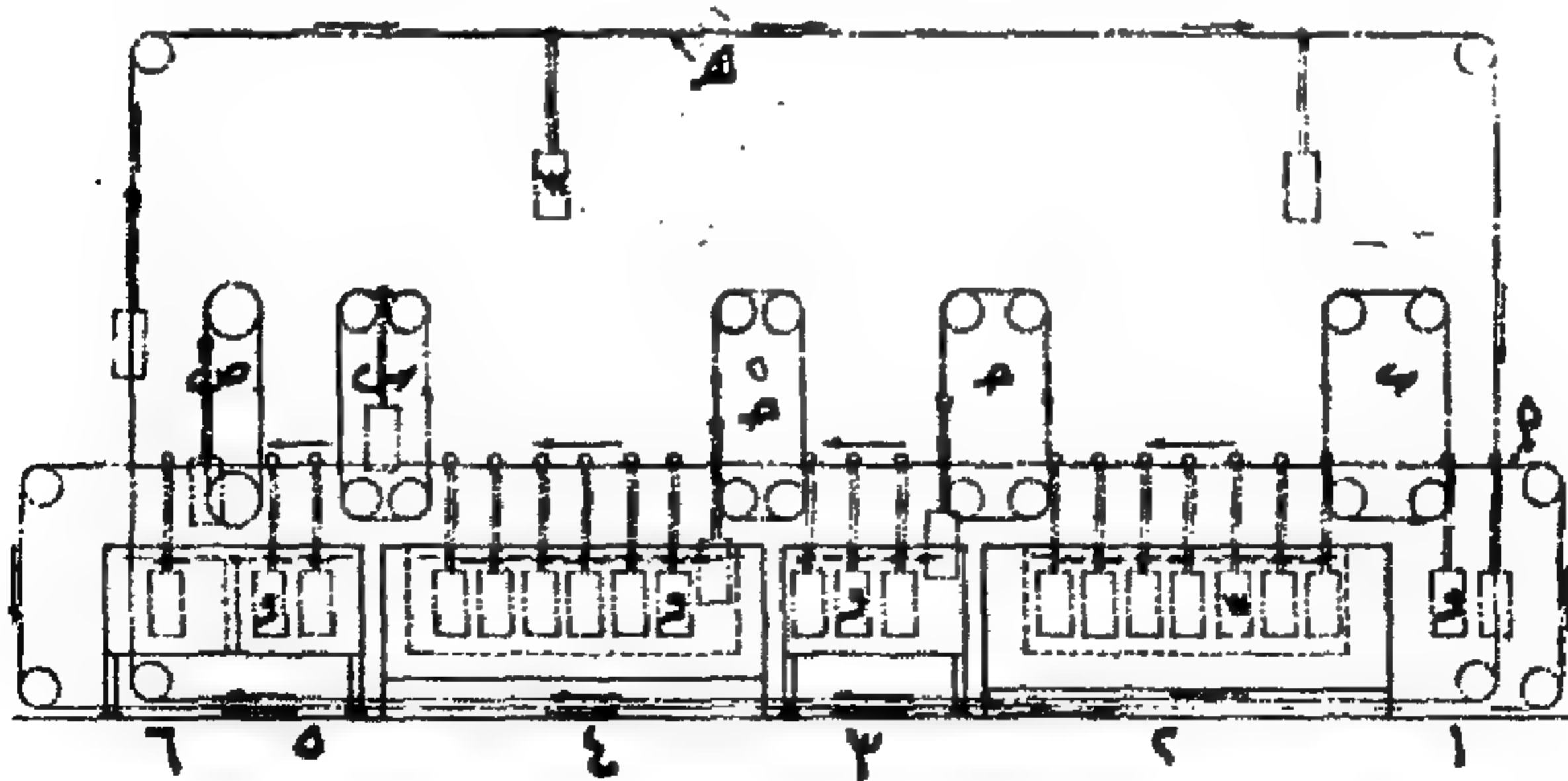


وهناك تصميم آخر ، يعرف بالناقلة الملولية ، كما في الشكل رقم (١٠٩) ، يحتوى على ذراع ممتدة على حوض الملح المنصهر ، وتدار هذه الذراع بواسطة موتور كهربائى ، ويعلق في هذه الذراع المشغولات أو سلات تحوى المشغولات الصغيرة ، وبدوران هذه الذراع حول محورها ، تتحرك المشغولات بالسرعة المطلوبة على امتداد الحوض . ومن ثم يمكن التحكم في درجة الحرارة والزمن .



شكل (١٠٩) فرن بالكثروادات مغمورة من طراز الناقله الملولبه
 ١ - ناقله ملولبه ٢ - اتجاه الحركة ٣ - أذرع رفع الشغلة ٤ - إلكتروادات
 ٥ - جهاز إدارة بسرعات مختلفة ٦ - الشغلة ٧ - وعاء

ويوضح الشكل رقم (١١٠) رسماً تخطيطياً لفرن تم تصميمه ، بحيث يتيح مرونة كافية لسلسلة من عمليات المعاملة الحرارية ، تم جميعها بوسائل ميكانيكية ، وتشمل واحداً أو أكثر من أحواض التسخين بواسطة مصهور أحد الأملاح ، بالإضافة إلى حوض مجاور لتسقية السريعة ، ثم أحواض الغسيل والشطف ، وفي هذا الفرن ، تستقر جريدة أفقية (هـ) تحمل عوامل المشغولات (و) على ناقلتين أعلى الفرن وعلى بعد كاف من الأحواض التي تحوى الأملاح المنصهرة . وتعود السلسلتان (أ) تحت الفرن ، وقد زود تصميم الفرن بمحاجز ميكانيكية بـ ، ج ، د ، س ، من تفصل الأحواض المختلفة ، وتعمل على رفع أو خفض الشغلة (و) التي تحملها الجريدة حين وصولها إلى ذلك الحاجز ، تبعاً لمقتضيات ونظام الطريقة ، بحيث يتم رفع الشغلة من حوض ليمبر الحاجز ويغير بسرعة في الحوض التالى .



شكل (١١٠) فرن بالكثروادات مغمورة ، تم تصميمه بحيث يعطى مرونة كافية لسلسلة من عمليات المعاملة الحرارية بوسائل ميكانيكية :

- | | | |
|----------------------------|-----------------------|------------------|
| ١ - الشحن والتفريغ | ٢ - مصهور ملهى | ٣ - حوض تسقية |
| ٤ - مصهور ملهى (للتطبيع) | ٥ - حوض لغسل المنتجات | ٦ - شطف المنتجات |

الباب السادس

سبائك الألومنيوم وخواصها

لما كانت سبائك الألومنيوم متعددة ومتنوعة . وفي الوقت نفسه ، لما كانت كل سبيكة تحتوي على عدة عناصر سبكية مختلفة ، لذلك فإنه من العسير الدلالة عليها في كل مرة برموزها الكيميائية . إذ أنها عملية شاقة ، عرضة للخطأ عند كتابة الرموز ونسبها المئوية ، بالإضافة إلى طولها ، الأمر الذي قد يشتت ذهن القارئ . وتسهيلا للموقف ، تقوم هيئات المواصفات القياسية الوطنية ، والشركات المنتجة ، بالتدليل على تلك السبائك برموز وأرقام معينة . وفي الواقع لا تعنى هذه الرموز والأرقام شيئا أكثر من ذلك . ولما كانت هيئات المواصفات القياسية في مصر وفي باقي الدول العربية ، لم تصدر بعد تصنيفاً رمزياً للألومنيوم وسبائكه ، فلقد رأينا وضع رموز نستعين بها في شرح وتصنيف هذه السبائك . لذلك نرجو ألا يغيب عن الذهن ، أنها اصطلاحات محلية في نطاق هذا الكتاب ، وإن كانت مستمدة من المواصفات القياسية لهذا الموضوع في الدول الرئيسية التي تنتج الألومنيوم وسبائكه .

رموز التصنيف العام للسبائك

- أ : ألومنيوم نقي (٩٩,٩٩٦ ٪ لو)
- ب : ألومنيوم نقي تجارياً (٩٩,٠٠٠ ٪ لو)
- ج : سبائك الألومنيوم القابلة للتشكيل (بأساليب الطرق ، والسحب ، والدفلة ، والبثق ، إلخ) .
- د : سبائك الألومنيوم للمسبوكات . (السباكة الرملية ، وفي قوالب معدنية ، إلخ)

رموز تصنيف المعاملات الحرارية

- ع : سبيكة مخمرة وأعيد تبلورها .
- ١٤ : سبيكة عوملت حرارياً لإذابة مكوناتها في محلول جامد متجانس .
- ٢٤ : سبيكة عوملت حرارياً لإذابة مكوناتها في محلول جامد متجانس ، ثم تعرضت بعد ذلك لتمتيق إزماني اصطناعي .
- ٣٤ : سبيكة عوملت حرارياً لإذابة مكوناتها في محلول جامد متجانس ، ثم تعرضت لعملية تثبيت بلوري .

الخواص الميكانيكية

في جداول الخواص الميكانيكية للسبائك الواردة في هذا الباب :

- ١ - أجريت اختبارات الاستطالة على عينات كل منها على شكل شريط سمكه ١,٦ ملليمتر .
- ٢ - أجريت اختبارات الصلادة بكرة برينل قطرها ١٠ ملليمترات ، تحت حمل قدره ٥٠٠ كيلو جرام .

العناصر الرئيسية في السبائك

(٢ ج إلى ٩ ج) : النحاس يمثل العنصر السبيكي الرئيسي فيها .
(٤ د ، ٧ د ، ٨ د ، ٩ د ، ١٢ د ، ١٣ د ، ١٤ د) النحاس يمثل العنصر السبيكي الرئيسي فيها .

(١ ج) : المنجنيز يمثل العنصر السبيكي الرئيسي فيها .
(١٢ ج إلى ١٥ ج) : المغنسيوم يمثل العنصر السبيكي الرئيسي فيها .
(١٥ د إلى ١٨ د) : المغنسيوم يمثل العنصر السبيكي الرئيسي فيها .
(١٠ ج ، ١١ ج) : السيليكون يمثل العنصر السبيكي الرئيسي فيها .
(١ د إلى ٣ د ، ١٠ د ، ١١ د ، ١٩ د ، ٢٤ د) : السيليكون يمثل العنصر السبيكي الرئيسي فيها .

(١٦ ج ، ١٧ ج ، ٢٦ د) : الزنك يمثل العنصر السبيكي الرئيسي فيها .
(٢٥ د) : القصدير يمثل العنصر السبيكي الرئيسي فيها .

(ج) سبائك الألومنيوم للتشكيل :

- ١ ج : لو - ١,٢ من
- ٢ ج : لو - ٥,٥ نح - ٥,٥ ص - ٥,٥ بر
- ٣ ج : لو - ٤ نح - ٦,٦ من - ٦,٦ مغ - ٥,٥ ص - ٥,٥ بر
- ٤ ج : لو - ٤,٤ نح - ٨,٨ س - ٨,٨ من - ٤,٤ مغ
- ٥ ج : لو - ٥,٥ نح - ١٠,٠ س - ٨,٨ من - ٤,٤ مغ (مكسية بسبيكة لو - ١٠,٠ مغ - ٧,٧ س - ٥,٥ من)
- ٦ ج : لو - ٤,٠ نح - ٥,٥ مغ - ٥,٥ س
- ٧ ج : لو - ٤,٠ نح - ٢,٠ نك - ٥,٥ مغ
- ٨ ج : لو - ٤,٥ نح - ١,٥ مغ - ٦,٦ من
- ٩ ج : لو - ٤,٥ نح - ٨,٨ من - ٨,٨ س

- ١٠ ج : لو - ١٢,٥ س - ١,٠ مغ - ٩,٩ نخ - ٩,٩ نك
 ١١ ج : لو - ١,٠ س - ٦,٥ مغ - ٢,٥ كر
 ١٢ ج : لو - ٢,٥ مغ - ٢,٥ كر
 ١٣ ج : لو - ١,٣ مغ - ٧,٥ س - ٢,٥ كر
 ١٤ ج : لو - ٥,٢ مغ - ١,٥ من - ١,٥ كر
 ١٥ ج : لو - ١,٠ مغ - ٦,٥ س - ٢,٥ نخ - ٢,٥ كر
 ١٦ ج : لو - ٥,٥ خ - ٢,٥ مغ - ١,٥ نخ - ٣,٥ كر - ٢,٥ من
 ١٧ ج : لو - ٦,٤ خ - ٢,٥ مغ - ١,٢ نخ .

(د) سبائك الألومنيوم للمسبوكات :

- ١ د : لو - ١٢ س
 ٢ د : لو - ٥ س
 ٣ د : لو - ٥ س - ٤ نخ
 ٤ د : لو - ٤ نخ - ٣ س
 ٥ د : لو - ٥ س - ٣ نخ
 ٦ د : لو - ٥,٥ س - ٤,٥ نخ
 ٧ د : لو - ٧ نخ - ٢ س - ٧,١ خ
 ٨ د : لو - ٧ نخ - ٣,٥ س
 ٩ د : لو - ١٠ نخ - ٢,٢ مغ
 ١٠ د : لو - ١٢ س - ٢,٥ نك - ١,٢ مغ - ٨,٥ نخ
 ١١ د : لو - ١٢ س - ١,٥ نخ - ٧,٥ من - ٧,٥ مغ
 ١٢ د : لو - ٤ نخ - ٢ نك - ١,٥ مغ
 ١٣ د : لو - ٤,٥ نخ
 ١٤ د : لو - ٤,٥ نخ - ٢,٥ س
 ١٥ د : لو - ٣,٨ مغ
 ١٦ د : لو - ٣,٨ مغ - ٨,١ خ
 ١٧ د : لو - ٨ مغ
 ١٨ د : لو - ١٠ مغ
 ١٩ د : لو - ٦ س - ٣,٥ نخ
 ٢٠ د : لو - ٥ س - ١,٣ نخ - ٥,٥ مغ
 ٢١ د : لو - ٧ س - ٣,٥ مغ

- ٢٢ د : لو - ٨ من - ١,٥ - نح - ٠,٢ مغ - ٠,٢ من
 ٢٣ د : لو - ٩,٥ من - ٠,٥ مغ
 ٢٤ د : لو - ٨,٥ من - ٢,٥ نح
 ٢٥ د : لو - ٦,٥ ق - ١ - نح - ١ - نك
 ٢٦ د : لو - ٥,٥ خ - ٠,٦ مغ - ٠,٥ كر - ٠,٢ ق

الألومنيوم النقي لو ٩٩,٩٩٦٪
 (السبيكة أ)

- ب - الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٦٩٨٩ جرام / سم^٣
 عند ٢٥°م : ٢,٦٩٧٨ جرام / سم^٣
 ج - درجة حرارة الانصهار : ٦٦٠,٢°م
 درجة حرارة الغليان : ٢٠٦٠°م
 الحرارة النوعية (عند ١٠٠°م) : ٠,٢٢٢٦ كالوري / جرام
 الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٤,٦ كالوري / جرام
 حرارة الاحتراق : ٧٣٨٩ كالوري / جرام
 د - الخواص الميكانيكية :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الامتطالة	الصلادة
كجم / سم ^٢	كجم / سم ^٢	%	(عدد برينل)
٤٦٧	١٢١	٤٨,٨	١٧
١١١٠	١٠٦٠	٥,٥	٢٧

* * *

الألومنيوم النقي تجارياً لو ٩٩,٠٪
(السبكة ب)

(١) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب قابلية عالية للتشكيل ، أو مقاومة عالية للتآكل ، أو كليهما معا . وعندما لا تكون المتانة العالية هي المطلوبة . أواني الطبخ ، وأوعية حفظ الأطعمة ، والمواد الكيميائية ، إلخ .

(ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٢,٧١ جم/سم^٣
الانكماش نتيجة التجمد : ٠,٦٦٪

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٩٥٧° م
درجة حرارة خط الجمود : ٦٤٣° م
الحرارة النوعية عند ١٠٠° م : ٠,٢٢٩٧ كالوري/جرام
الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالوري/جرام
الموصلية الحرارية عند ٢٥° م : ٠,٥٣ كالوري/سم^٢ / م / م / ث
حرارة الاحتراق : ٧٤٠٠ كالوري/جرام
درجة حرارة إعادة التبلور : ٢٩٠° م

د - الخواص الميكانيكية : (لسبكة مخمرة وأعيد تبلورها)

الخواص الميكانيكية للألومنيوم النقي (تجارياً) المخمر

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم/سم ^٢	الاستطالة ٪	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم/سم ^٢	معامل المرونة كجم/سم ^٢
٩١٠	٣٥٠	٤٥	٢٣	٦٦٥	٧٠٠٠٠٠

تغير بعض الخواص الميكانيكية باختلاف درجة الحرارة

درجات الحرارة المثوية			
٢٠٠	١٥٠	٢٥	
٤٢٠	٥٢٥	٩٠٠	مقاومة الشد ، كجم/سم ^٢ مقاومة الخضوع ، كجم/سم ^٢ الاستطالة (٪)
٢١٠	٢٤٥	٣٥٠	
٧٠	٦٥	٤٥	

٥ - حدود التركيب الكيميائي % :

لو	(حد أدنى)	٩٩
ح + ص	(حد أقصى)	١
نح	(حد أقصى)	٠,٢
من	(حد أقصى)	٠,٥
خ	(حد أقصى)	٠,١

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٥ - ٧٤٠ °م

درجة حرارة التشغيل على الساخن : ٢٦٠ - ٥١٠ °م

المعاملة الحرارية : يجرى التخمير عند ٣٤٥ °م

* * *

سبائك الألومنيوم القابلة للتشكيل

لو - ١٠٢ من
(السبيكة ١ ج)

(١) الاستخدامات : الأغراض التى تتطلب قابلية عالية للتشغيل ، أو مقاومة كبيرة للتآكل ، أو قابلية عالية للحام ، أو جميعها مجتمعة ، وأيضا كانت المتانة مطلوبة . أدوات المطبخ ، أوعية حفظ الأطعمة والمواد الكيماوية ، صهاريج الجازولين والزيت .

(ب) الكثافة عند ٢٠ °م : ٢,٧٣ جم/سم^٣

درجة حرارة خط السيولة : ٦٤٥ °م

درجة حرارة خط الجمود : ٦٤٣ °م

الحرارة النوعية عند ١٠٠ °م : ٠,٢٣ كالورى/جرام

درجة حرارة إعادة التبلور : ٣١٤ °م

(د) الخواص الميكانيكية (عينة منحرفة) :

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم/سم ^٢	الاستطالة %	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم/سم ^٢
١١٢٠	٤٢٠	٤٠	٢٨	٧٧٠

(هـ) الحدود الكيميائية (%) :

من	١-١,٥
نخ	(حد أقصى) ٠,٢
ح	(حد أقصى) ٠,٧
س	(حد أقصى) ٠,٦
خ	(حد أقصى) ٠,١
شوائب أخرى	(حد أقصى) ٠,١٥

* * *

لو - ٥,٥ نخ - ٥,٥ - ٧ - ٥,٥ بز
(السبيكة ٢ ج)

(ا) الاستخدامات : التطبيقات التي تستلزم قابلية عالية للتشغيل ومتانة كبيرة . تستخدم في صناعة أجزاء الماكينات الملولة (القلاووظ) . المطروقات ، أجزاء الطائرات الحربية .

(ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٢,٨٢ جرام/سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٤٣° م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٣٥° م

الحرارة النوعية عند ١٠٠° م : ٠,٢٣ كالوري/جرام (تقريبا)

الموصلية الحرارية عند ٢٥° م : ٠,٣٧ كالوري/سم^٢/م/ث

(د) الخواص الميكانيكية (لعينة عوملت حراريا ثم تعرضت للتشغيل على البارد) :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الاستطالة	الصلادة	مقاومة القص
كجم/سم ^٢	كجم/سم ^٢	%	(عدد برينل)	كجم/سم ^٢
٣٧١٠	٣٢٩٠	١٥	٩٥	٢١٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية « لأغراض صناعة الطائرات الحربية » (%) :

نخ	٣,٥ - ٦ %
بز	٢ - ٠,٧ %
س	٢ - ٠,٧ %
الشوائب الأخرى (ح ، مغ ، س ز) ، (حد أقصى)	١,٠ %

• النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٥ - ٧٤٥ °م

• درجة حرارة التشغيل على الساخن : ٢٦٠ - ٤٨٠ °م

* * *

لو - ٤ نح - ٠,٦ من - ٠,٦ مغ - ٠,٥ - ٠,٥ بز
(السبيكة ٣ ج)

(ا) الاستخدامات : المطروقات ، الأجزاء التى يجرى تشغيلها بالمكنات .

(ب) الكثافة عند ٢٠ °م : ٢,٨١ جرام/سم^٣

(ج) المقاومة للتآكل الكيميائى : جيدة وتتحسن بتسقية هذه السبيكة سريعاً فى ماء بارد .

(د) الخواص الميكانيكية (السبيكة المسقاة) :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الاستطالة	الصلادة	معامل المرونة
كجم/سم ^٢	كجم/سم ^٢	%	(عدد برينل)	كجم/سم ^٢
٤٢٧٠	٢٤٥٠	٢٢	١٠٠	٧٣٥٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (%) :

نح ٤,٥ - ٣,٥
من ١ - ٠,٤
مغ ٠,٨ - ٠,٢
✓ ٠,٧ - ٠,٣
بز ٠,٧ - ٠,٣

(و) درجة حرارة التشغيل على الساخن : ٣٥٥ - ٤٠٠ °م

درجة حرارة التخمير : ٤٠٠ - ٤٢٥ °م

ويجرى التثريب الحرارى عند هذه الدرجة لمدة ساعة ، ثم يبرد بمعدل لا يزيد على ١٠ °م

فى الساعة ، حتى تصل درجة الحرارة إلى ٢٨٠ °م .

* * *

لو - ٤,٤ نح - ٥,٨ س - ٥,٨ من - ٥,٤ مغ
(السبيكة ٤ ج)

(١) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب متانة عالية ، وقابلية جيدة للتشكيل ، وصلادة كبيرة . المطروقات ذات الأداء الممتاز . بعض أجزاء الطائرات .

(ب) الكشافة عند ٥٢٠°م : ٢,٨ جرام/سم^٣ .

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٣٨°م

درجة حرارة خط الجمود : ٥١٠°م

الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠,٢٣ كالوري/جم

درجة حرارة إعادة التبلور : ٣٤٥°م

(د) الخواص الميكانيكية (عينة مخمرة) :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الاستطالة	الصلادة	مقاومة القص
كجم/سم ^٢	كجم/سم ^٢	%	(عدد برينل)	كجم/سم ^٢
١٨٩٠	٩٨٠	١٨	٤٥	١٢٦٠

(هـ) الحدود الكيميائية (%) :

نح	٥ - ٣,٩
س	١,٢ - ٠,٥
من	١,٢ - ٠,٤
مغ	٠,٨ - ٠,٢

* * *

لو - ٤,٥ نخ - ١,٥ من - ٥,٨ من - ٥,٤ مغ
مكسية بسبكة لو - ١,٥ من - ٥,٧ من - ٥,٥ من
(السبكة ٥ ج)

(١) الاستخدامات : تستخدم في صناعة الأجزاء التي تتطلب متانة عالية ، قابلية كبيرة للتشكيل ومقاومة ممتازة للتآكل الكيميائي .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٧٨ جرام/سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٣٧°م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٢٥°م

(د) الخواص الميكانيكية (للألواح المدرفلة) :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الاستطالة	مقاومة القص	معامل المرونة
كجم/سم ^٢	كجم/سم ^٢	%	كجم/سم ^٢	كجم/سم ^٢
١٧٥٠	٧٠٠	٢٢	٣٠١٠	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (%) :

نخ	القلب	٣,٩ - ٥	الكسوة	٠ - ٠,١
س		١,٢ - ٥		١,٥ - ٣,٥
مغ		٠,٨ - ٢		١,٥ - ٥,٨
من		١,٢ - ٤		٠ - ٥,٧٥

* * *

لو - ٤ نخ - ٥,٥ من - ٥,٥ من
(السبكة ٦ ج)

(١) الاستخدامات : التطبيقات التي تستلزم متانة عالية نسبيا ، وقابلية كبيرة للتشكيل ومقاومة للتآكل الكيميائي . بعض أجزاء الطائرات ، مسامير البرشام .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٧٩ جرام/سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٤١°م

درجة حرارة الجمود : $^{\circ}\text{C} 513$
 الحرارة النوعية عند $^{\circ}\text{C} 100$: $0,23$ كالورى/جرام
 درجة حرارة إعادة التبلور : $^{\circ}\text{C} 245$
 (د) الخواص الميكانيكية :

مقاومة الشد كجم/سم ²	مقاومة الخضوع كجم/سم ²	الاستطالة %	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم/سم ²
(ع) 1820	700	00	45	1260
(1ع) 4340	2800	22	105	2660

(هـ) الحدود الكيميائية (%):

نح	من	مغ	
4,5 - 3,5	1,0 - 0,4	0,8 - 0,2	القضبان والأسلاك
4,7 - 3,5	1,0 - 0,4	0,75 - 0,2	المطروقات

- النطاق الحرارى للانصهار : $^{\circ}\text{C} 745 - 675$
- درجة حرارة التشغيل على الساخن : $^{\circ}\text{C} 480 - 260$

* * *

لو - 4 نح - 2 نك - 0,5 مغ (السيكة 7 ج)

(أ) الاستخدامات : التطبيقات التى تتطلب متانة كبيرة عند درجات الحرارة العالية ،
 الأسطوانات والكباسات .

(ب) الكثافة عند $^{\circ}\text{C} 20$: $7,8$ جرام/سم³

- (ج) درجة حرارة خط السيولة : عند ١٢٨ م
 درجة حرارة خط الجمود : ٥٥٠٧ م
 الحرارة النوعية عند ١٠٠ م : ٠,٢٢ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الاستطالة	الصلادة	مقاومة القص	معامل المرونة
كجم/سم ^٢	كجم/سم ^٢	%	(عدد برينل)	كجم/سم ^٢	كجم/سم ^٢
٤٤١٠	٣٢٩٠	١٧	١٣٠	٢٧٣٠	٧٤٢٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (%) :

نح	٤,٥ - ٣,٥
فك	٢,٣ - ١,٧
منغ	٠,٩ - ٠,٤٥

- (و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٥ - ٧٤٥ م
 (ز) درجة حرارة التشغيل على الساخن : ٢٦٠ - ٤٨٠ م

* * *

لو - ٤,٥ نح - ١,٥ منغ - ٠,٦ من
(السبيكة ٨ ج)

- (ا) الاستخدامات : هياكل الطائرات ، أغراض البرشمة . كثير من الانتشامات المعدنية .
 (ب) الكثافة عند ٢٠ م : ٢,٧٧ جرام/سم^٣
 (ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٣٨ م

درجة حرارة خط الجمود : $^{\circ}\text{C} 50.2$
 الحرارة النوعية عند $^{\circ}\text{C} 100$: 0.23 كالورى/جرام
 درجة حرارة إعادة التبلور : $^{\circ}\text{C} 245$
 (د) الخواص الميكانيكية :

مقاومة الشد كجم/سم ²	مقاومة الخضوع كجم/سم ²	الاستطالة %	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم/سم ²
(ع) 1890	770	22	42	1260
(1ع) 4760	3220	22	120	2870

(هـ) الحدود الكيميائية (%):

نح 4.9 - 3.8
 مغ 1.8 - 1.2
 من 0.9 - 0.3

(و) النطاق الحرارى للانصهار : $^{\circ}\text{C} 675 - 745$
 درجة حرارة التشغيل على الساخن : $^{\circ}\text{C} 260 - 485$

* * *

لو - 4.5 نح - 0.8 من - 0.8 س
 (السيكة 9 ج)

(أ) الاستخدامات : التطبيقات التى تتطلب قابلية كبيرة للتطريق ومتانة عالية . مراوح الطائرات ، أذرع التوصيل المساعدة (فى الطائرات) ، علب المرافق للمحركات نصف القطرية .

(ب) الكثافة عند $^{\circ}\text{C} 20$: 2.79 جرام/سم³

(ج) درجة حرارة خط السيولة : $^{\circ}\text{C} 641$

درجة حرارة خط الجمود : $^{\circ}\text{C} 521$

الحرارة النوعية عند $^{\circ}\text{C} 100$: 0.23 كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (٢٤) :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الاستطالة	الصلادة	معامل المرونة
كجم/سم ^٢	كجم/سم ^٢	%	(عدد برينل)	كجم/سم ^٢
٣٩٩٠	٢٤٥٠	١٨	١١٠	٧٢٨٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (للمطروقات) (%) :

نح	٥ - ٣,٩
من	١,٢ - ٠,٤
س	١,٢ - ٠,٥
الشوائب (حد أقصى)	% ١

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٥٧٥ - ٥٧٤ م

درجة حرارة التشغيل على الساخن : ٢٦٠ - ٤٨٠ م

* * *

لو - ١٢,٥ س - ١,٠ مغ - ٠,٩ نح - ٠,٩ نك

(السيكة ١٠ ج)

(١) الاستخدامات : التطبيقات التى تتطلب قابلية كبيرة للطرق وانخفاض معامل التمدد الحرارى. الكبيات المطروقة .

(ب) الكثافة عند ٢٠ م : ٢,٦٩ جرام/سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٥٧١ م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٣٢ م

الحرارة النوعية عند ١٠٠ م : ٠,٢٣ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (٢٤) :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الاستطالة	الصلادة	معامل المرونة
كجم/سم ^٢	كجم/سم ^٢	%	(عدد برينل)	كجم/سم ^٢
٣٩٢٠	٣٢٢٠	٨	١٢٥	٧٢١٠٠٠

(أ) الحدود الكيميائية (المبروقات) % :

س	١١,٥ - ١٣,٥
نخ	٠,٥ - ١,٣
منغ	٠,٨ - ١,٣
نك	٠,٥ - ١,٣

(ر) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٥ - ٧٤٥ °م
درجة حرارة التشغيل على الساخن : ٢٦٠ - ٤٨٥ °م

* * *

لو - ١,٥ س - ٠,٦ منغ - ٠,٢٥ كر
(الشبكة ١١ ج)

(أ) الاستخدامات : التطبيقات التى تتطلب قابلية للطرق ومتانة كبيرة ، ومقاومة عالية لتآكل الكيميائى . علب المرافق ، أجزاء المصهرات ، أجزاء السيارات والآلات .

(ب) الكثافة عند ٢٠ °م : ٢,٦٩ جرام/سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٤٩ °م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٥٢ °م

الحرارة النوعية عند ١٠٠ °م : ٠,٢٣ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (٢٤) :

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم/سم ^٢	الاستطالة %	الصلادة (عدد برينل)	معامل المرونة كجم/سم ^٢
٣٢٩٠	٢٨٠٠	٢٠	١٠٠	٧١٤٠٠٠

(أ) الحدود الكيميائية (%) :

س	٠,٦ - ١,٢
منغ	٠,٨ - ٠,٤٥
كر	٠,١٥ - ٠,٣٥

الشوائب (حد أقصى)

(و) النطاق الحرارى للانصهار :

٦٧٥ - ٧٤٥ °م

درجة حرارة التشغيل على الساخن : ٢٦٠ - ٤٨٠ °م .

لو - ٢,٥ مغ - ٠,٢٥ كر
(السبيكة ١٢ ج)

(ا) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب قابلية كبيرة للتشغيل ، ومقاومة كبيرة للتآكل الكيميائي ، ومثانة معتدلة . خطوط الوقود والزيت في الطائرات ، مخرج الوقود . وسائل النقل البحري المتنوعة .

(ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٢,٦٨ جرام/سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٤٩° م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٩٣° م

الحرارة النوعية عند ١٠٠° م : ٢٣ د كالورى/جم

درجة حرارة إعادة التبلور : ٢٩٠° م

(د) الخواص الميكانيكية (ع) :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الاستطالة	الصلادة	مقاومة القص
كجم/سم ^٢	كجم/سم ^٢	%	(عدد برينل)	كجم/سم ^٢
٢٠٣٠	٩٨٠	٣٠	٤٥	١٢٦٠

(هـ) الحدود الكيميائية (%) :

٢,٨ - ٢,٢ مغ

٠,٣٥ - ٠,١٥ كر

٠,٤٥

(ح + س) حد أقصى

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٥ - ٧٤٥° م

درجة حرارة التشغيل على الساخن : ٢٦٠ - ٥١٠° م .

لو - ١,٣ مغ - ٠,٧ ص - ٢٥ وكر

(السبيكة ١٢ ج)

(١) الاستخدامات : جميع التطبيقات التي تتطلب قابلية كبيرة للتشغيل ، ومقاومة عالية للتآكل الكيميائي ، ومتانة متوسطة . معدات تكرير البترول . المنشآت البحرية المختلفة .

(ب) الكثافة عند 20°C : ٢,٦٩ جم/سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : 652°C

درجة حرارة خط الجمود : 579°C

الحرارة النوعية عند 100°C : ٠,٢٣ كالوري/جرام

درجة حرارة إعادة التبلور : 345°C

(د) الخواص الميكانيكية :

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم/سم ^٢	الاستطالة %	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم/سم ^٢	مقاومة المرونة كجم/سم ^٢
١١٢٠	٤٩٠	٣٥	٢٦	٧٧٠	٧٠٠٠٠٠
٢٣١٠	١٤٠٠	٣٠	٦٥	١٤٠٠	٧٠٠٠٠٠
٢٧٣٠	٢٣١٠	٢٠	٨٠	١٦٨٠	٧٠٠٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (%) :

١,٤ - ١,١ مغ

٠,٣٥ - ٠,١٥ كرك

(٠,٤٥ - ٠,٦٥) من المغنسيوم ص

(و) النطاق الحراري للانصهار : $670 - 740^{\circ}\text{C}$

درجة حرارة التشغيل على الساخن : $260 - 510^{\circ}\text{C}$.

لو - ٥٢ مغ - ٠١ من - ٠١ كر

(السبيكة ١٤ ج)

(ا) الاستخدامات : إنتاج الأسلاك التي تتمتع بمقاومة ممتازة للتآكل الكيميائي . البرشمة مع سبائك المغنسيوم . تغليف الكابلات .

(ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٢,٦٤ جم/سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٣٨° م

درجة حرارة خط الجمود : ٦٥٨° م

الحرارة النوعية عند ١٠٠° م : ٠,٢٣ كالوري/جم .

(د) الخواص الميكانيكية (ع) :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الاستطالة	معامل المرونة
كجم/سم ^٢	كجم/سم ^٢	%	كجم/سم ^٢
٢٩٤٠	١٤٠٠	٣٥	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (%) :

مغ ٥,٦ - ٤,٥

من ٠,٢ - ٠,٥

كر ٠,٢ - ٠,٥

(و) النطاق الحراري للانصهار : ٦٧٥ - ٧٤٥° م

درجة حرارة التشغيل على الساخن : ٢٦٠ - ٥١٠° م

المعاملة الحرارية : التلدين عند ٣٤٥° م

لو - ١٠ - مغ - ٠,٦ - س - ٠,٢٥ - نح - ٢٥ - كر

(السيكة ١٥ ج)

(١) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب متانة عالية ، وقابلية كبيرة للتشغيل ، ومقاومة متازة للتآكل الكيميائي . صناعة القوارب ، وزوارق السباق ، وقطع الأثاث ، ومعدات النقل .

(ب) الكشافة عند 20°C : ٢,٧ جرام/سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : 602°C

درجة حرارة خط الجمود : 582°C

الحرارة النوعية عند 100°C : ٠,٢٣ كالوري/جرام

درجة حرارة إعادة التبلور : 345°C .

(د) الخواص الميكانيكية :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الاستطالة	الصلادة	مقاومة القص	معامل المرونة
كجم/سم ^٢	كجم/سم ^٢	%	(عدد برينل)	كجم/سم ^٢	كجم/سم ^٢
١٢٦٠	٥٦٠	٣٠	٣٠	٨٧٥	٧٠٠٠٠٠
٢٤٥٠	١٤٧٠	٢٨	٦٥	١٦٨٠	٧٠٠٠٠٠
٣١٥٠	٢٨٠٠	١٥	٩٥	٢١٠٠	٧٠٠٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (%) :

٠,٨ - ١,٢ مغ

٠,٤ - ٠,٨ س

٠,٤ - ١,٥ نح

٠,٣٥ كر (حد أقصى)

(و) النطاق الحراري للانصهار : $675 - 745^{\circ}\text{C}$

درجة حرارة التشغيل على الساخن : $260 - 510^{\circ}\text{C}$

لو - ٥,٥ خ - ٢,٥ مغ - ١,٥ نخ - ٠,٣ كر - ٠,٢ من
(السبكة ١٦ ج)

(١) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب متانة عالية ، ومقاومة كبيرة للتآكل الكيميائي .
تستخدم هذه السبكة في صناعة بعض أجزاء الطائرة .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٨ جرام / سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٣٨°م

درجة حرارة خط الجمود : ٤٧٦°م

الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠,٢٣ كالورى / جرام

درجة حرارة إعادة التبلور : ٤١٥°م

(د) الخواص الميكانيكية :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الاستطالة	الصلادة	مقاومة القص	معامل المرونة
كجم / سم ^٢	كجم / سم ^٢	%	(عدد برينل)	كجم / سم ^٢	كجم / سم ^٢

مبثوقات

٢٨٠٠	١٤٠٠	١٢	٠٠	٠٠	٧٢٨٠٠٠
------	------	----	----	----	--------

(ع)

٦١٦٠	٥٦٠٠	١٠	١٥٠	٣٢٩٠	٧٢٨٠٠٠
------	------	----	-----	------	--------

(٢٤)

منتجات أخرى غير مكسية

٢٣١٠	١٠٥٠	١٢	٠٠	٠٠	٠٠
------	------	----	----	----	----

(ع)

٢٢٤٠	٥٠٤٠	١٠	١٥٠	٠٠	٠٠
------	------	----	-----	----	----

(٢٤)

(هـ) الحدود الكيميائية (%) :

خ	مغ	نح	من	كر
قضبان الألومنيوم :				
٥,١ - ٦,١	٢,٩ - ٢,١	١,٢ - ٢	٠,١ - ٠,٣	٠,١٥ - ٠,٤
الواح مكسية :				
٥,١ - ٦,١	٢,٩ - ٢,١	١,٢ - ٢	٠,١ - ٠,٣	٠,١٥ - ٠,٤
١,٢٥ - ٠,٧٥	٠,١ - ٠,٠	٠,١ - ٠,٠	٠,١ - ٠,٠	-
والكسوة				

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٥ - ٧٤٥ م°

درجة حرارة التشغيل على الساخن : ٢٦٠ - ٤٥٥ م°

* * *

لو - ٦,٤ خ - ٢,٥ مغ - ١,٢ نح

(السبكة ١٧ ج)

(ا) الاستخدامات : صناعة الطائرات ووسائل النقل الأخرى .

(ب) الكثافة عند ٢٠ م° : ٢,٨٢ جرام / سم^٣

(د) الخواص الميكانيكية (ع) :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الاستطالة	معامل المرونة
كجم / سم ^٢	كجم / سم ^٢	%	كجم / سم ^٢
٢١٠٠	١٠٥٠	١٨	٧٢٨٠٠٠

(و) درجة حرارة التشغيل على الساخن : ٣٧٠ - ٤٢٥ م°

درجة حرارة التلدين : ٣٥٥ - ٣٧٠ م° . يتم التبريد إلى ٢٣٠ م° ثم الاحتفاظ

بهذه الدرجة لمدة ٤ ساعات .

سبائك الألومنيوم للمسبوكات

لو - ١٢ س
(السبيكة ١ د)

(أ) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب قابلية ممتازة للسباكة ، ومقاومة عالية للتآكل الكيميائي . تدخل في صناعة مسبوكات الألومنيوم المختلفة .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٦٦ جرام / سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٥٨٥°م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٧٤°م

الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠,٢٣ كالوري / جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالوري / جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السباكة في قوالب معدنية) :

مقاومة الشد كجم / سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم / سم ^٢	الاستطالة %	معامل المرونة كجم / سم ^٢
٢٥٩٠	١٢٦٠	١,٨	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (%) :

س ١١ - ١٣

الشوائب (حد أقصى) ٢ (ح ، مغ ، من ، خ)

: ٦٤٩ - ٧٦٠°م

(و) النطاق الحراري للانصهار

: ٦٣٥ - ٧٠٤°م

درجة حرارة السباكة في قوالب معدنية

لو - ٥ س
(السبكة ٢ د)

(ا) الاستخدامات : السباكة في قوالب معدنية : التطبيقات التي تتطلب مطيلية مناسبة ، ومقاومة عالية للتآكل الكيميائي .

السباكة في قوالب رملية ودائمة : التطبيقات التي تتطلب قابلية ممتازة للسباكة ، ومقاومة للتآكل الكيميائي مع متانة مناسبة . أواني الطبخ ، الأدوات المنزلية ، بعض أجزاء المعدات البحرية .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٦٩ جرام / سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٢٩°م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٧٧°م

الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠,٢٣ كالوري / جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالوري / جرام

(د) الخواص الميكانيكية :

مقاومة الشد كجم / سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم / سم ^٢	الاستطالة %	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم / سم ^٢
السباكة في قوالب معدنية	١٦٨٠	٠٠	٠٠	٠٠
٢١٠٠	٦٣٠	٦	٤٠	٩٨٠
السباكة الرملية	١٣٣٠			
السباكة في قوالب دائمة	١٦٨٠	٩	٤٥	١٢٦٠

(هـ) الحدود الكيميائية (%) :

الشوائب (حد أقصى)							
س	ح	نخ	منغ	من	خ	نك	
٦-٤,٥	٢	٠,٦	٠,١	٠,٣	٠,٥	—	السباكة في قوالب معدنية
٦-٤,٥	٠,٨	٠,١	٠,٠٥	٠,١	٠,٢	٠,٢	السباكة الرملية
٦-٤,٥	٠,٨	٠,١	٠,٠٥	٠,١	٠,١	٠,٢	السباكة في قوالب دائمة

(و) النطاق الحرارى للانصهار :

(السباكة فى قوالب) : ٦٤٩ - ٧٦٠ م°

(السباكة الرملية وفى قوالب دائمة) : ٦٧٧ - ٨١٦ م°

درجة حرارة السباكة :

(السباكة فى قوالب) : ٦٣٥ - ٧٠٤ م°

(السباكة الرملية وفى قوالب دائمة) : ٦٧٧ - ٧٨٨ م°

* * *

لو - ٥ س - ٤ نح
(السبيكة ٣ د)

(ا) الاستخدامات : مختلف التطبيقات العادية

(ب) الكثافة عند ٢٠ م° : ٢,٧٨ جرام / سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦١٣ م°

درجة حرارة خط الجمود : ٥٢١ م°

الحرارة النوعية عند ١٠٠ م° : ٠,٢٣ كالورى / جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالورى / جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السباكة فى قوالب معدنية) :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الاستطالة	معامل المرونة
كجم / سم ^٢	كجم / سم ^٢	%	كجم / سم ^٢
٢٨٠٠	١٥٤٠	٣,٥	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية « الصب فى قوالب معدنية » (%) :

س ٤,٥ - ٥,٥

نح ٤,٥ - ٣,٥

الشوائب (حد أقصى) ٢,٣

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٤٩ - ٧٦٠ م°

درجة حرارة السباكة : ٦٣٥ - ٧٠٤ م°

لو - ٤ - نج - ٣ - س
(السيكة ٤ د)

(أ) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب خواصاً سبكياً جيدة ، وقابلية جيدة للحم ، ومثانة مناسبة ، الصهومات .

(ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٢,٧٩ جرام/سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٣٢° م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٢١° م

الحرارة النوعية عند ١٠٠° م : ٠,٢٣ كالوري/جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالوري/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السيكة الرملية) :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الاستطالة	الصلادة	معامل المرونة
كجم/سم ^٢	كجم/سم ^٢	%	(عدد برينل)	كجم/سم ^٢
١٤٧٠	٩٨٠	٢,٥	٥٥	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية «السيكة الرملية» (%):

٣,٥ - ٤,٥

نح

٢,٥ - ٣,٥

س

١

الشوائب (حد أقصى)

٦٧٧ - ٨١٦° م

(و) النطاق الحراري للانصهار :

٦٧٧ - ٧٨٨° م

درجة حرارة السيكة :

لو - ٥ س - ٢ نج
 (السيكة ٥ د)

(أ) الاستخدامات : الأغراض العامة التي تستخدم فيها السباكة الرملية والسباكة في قوالب دائمة ، حيث لا تلزم معاملة حرارية لتحسين خواصها الميكانيكية .

(ب) الكثافة عند ٢٠م° : ٢,٧٦ جرام/سم^٣

(د) الخواص الميكانيكية :

الاستطالة %	مقاومة الخضوع كجم/سم ^٢	مقاومة الشد كجم/سم ^٢	
السباكة الرملية			
٢,٥	٩٨٠	١٨٩٠	بعد الصب مباشرة
٢	١٢٦٠	٢٠٣٠	بعد إزالة الإجهادات
٤	١٤٠٠	٢٤٥٠	بعد معاملتها حراريا وتعتيقها
			بعد معاملتها حراريا وإزالة الإجهادات
٢,٥	١٦١٠	٢٥٩٠	
السباكة في قوالب دائمة			
٣	١٢٦٠	٢٤٥٠	بعد الصب مباشرة
٢	١٥٤٠	٢٥٩٠	بعد إزالة الإجهادات
٥	١٥٤٠	٢٩٤٠	بعد معاملتها حراريا وتعتيقها
			بعد معاملتها حراريا وإزالة الإجهادات
٣	١٦١٠	٢٩٤٠	

(هـ) الحدود الكيميائية : « السباكة الرملية والسباكة في قوالب دائمة » (%) :

٤,٥ - ٦
 ٢,٥ - ٣,٥
 ٠,٢

س
 نج
 الشوائب (حد أقصى)

لو - ٥٥ س - ٤٥ نح
(السيكة ٦ د)

(أ) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب خواصا سبكية جيدة ، وقابلية حسنة للحام ، ومتانة مناسبة . أغراض الزينة والزخارف ، الأغراض العامة لمصبوبات الألومنيوم

(ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٢,٧٩ جرام/سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦١٦° م

درجة حرارة خط الجمود : ٥١٦° م

الحرارة النوعية عند ١٠٠° م : ٠,٢٣ كالوري/جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالوري/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السيكة في قوالب دائمة) :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الامتطالة	الصلادة	معامل المرونة
كجم/سم ^٢	كجم/سم ^٢	%	(عدد برينل)	كجم/سم ^٢
١٩٦٠	١١٢٠	٢	٧٠	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية «السيكة في قوالب دائمة» (%) :

س ٥ - ٦

نح ٤ - ٥

الشوائب (حد أقصى) ١

٥٧٧ - ٨١٦° م

(و) النطاق الحراري للانصهار

٦٧٧ - ٧٨٨° م

درجة حرارة السيكة

لو - ٧ - نح - ٢ - س - ١,٧ - خ
(السبكة ٥٧)

(أ) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب خواصاً سبكية جيدة ، وقابلية عالية جداً للتشكيل . الأغراض المختلفة لمصبوبات الألومنيوم التي تتطلب إحكاماً للضغط .

(ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٢,٩١ جرام/سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٢٩° م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٢٤° م

الحرارة النوعية عند ١٠٠° م : ٠,٢٣ كالوري/جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالوري/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السبكة الرملية) :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الاستطالة	الصلادة	معامل المرونة
كجم/سم ^٢	كجم/سم ^٢	%	(عدد برينل)	كجم/سم ^٢
١٦٨٠	١٠٥٠	١,٥	٧٠	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية « السبكة الرملية » (%) :

٨ - ٦

نح

٣ - ١

س

٢,٥

خ (حد أقصى)

١,٤

الشوائب (حد أقصى)

٦٧٧ - ٨١٦° م :

(و) النطاق الحراري للانصهار

٦٧٧ - ٧٨٨° م :

درجة حرارة السبكة

لو - ٧ - نح - ٣,٥ - س
(السيكة ٨ د)

(أ) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب خواصاً سبكية جيدة ، وقابلية عالية للتشكيل .
قلايات مكثات الغسيل ، رؤوس الاسطوانات في محركات السيارات .

(ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٢,٩١ جرام/سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٢٩° م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٢٤° م

الحرارة النوعية عند ١٠٠° م : ٠,٢٣ كالورى/جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السيكة في قوالب دائمة) :

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم/سم ^٢	الاستطالة %	المصلادة (عدد برينل)	معامل المرونة كجم/سم ^٢
٢١٠٠	١٦٨٠	١	٨٠	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية «السيكة في قوالب رملية» (%) :

نح
س (حد أقصى)
الشوائب (حد أقصى)
٨ - ٦
٤
١,٤

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٧ - ٨١٦° م

درجة حرارة السيولة : ٦٧٧ - ٧٨٨° م

لو - ١٠ - نح - ٠,٢ - مغ
(السيكة ٩ د)

(أ) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب متانة عالية عند درجات الحرارة العالية ،
وصلادة كبيرة ، ومقاومة للبرى والتآكل ، وقابلية جيدة للتشكيل . رؤوس الاسطوانات
التي تبرد بالهواء . الكباسات في محركات السيارات . الجلب ووصلات المواسير .

(ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٢,٩٥ جرام/سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٢٧° م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٤١° م

الحرارة النوعية عند ١٠٠° م : ٠,٢٣ كالورى/جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السباكة الرملية ، منتجات أجرى تخميرها) :

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم/سم ^٢	الاستطالة %	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم/سم ^٢	معامل المرونة كجم/سم ^٢
١٨٩٠	١٤٠٠	١	٨٠	١٤٧٠	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (%) :

-	نح	مغ	الشوائب (حد أقصى)			
			ح	س	من	خ
السباكة الرملية	١٠,٨ - ٩,٢	٠,٣٥ - ٠,١٥	١,٥	٢	٠,١	٠,١
السباكة في قوالب دائمة	١٠,٧ - ٩,٢	٠,٣٥ - ٠,١٥	١,٥	—	٠,٣	٠,٤

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٧ - ٨١٦ م

درجة حرارة السباكة :

١ - سباكة رملية : ٦٧٧ - ٧٨٨ م

٢ - قوالب دائمة : ٦٧٧ - ٧٨٨ م

لو - ١٢ من - ٢,٥ نك - ١,٢ مغ - ٠,٨ نح
(السبيكة ١٠ د)

(للمسبوكات في قوالب دائمة)

(ا) الاستخدامات : التطبيقات التى تتطلب متانة عالية عند درجات الحرارة المرتفعة ومعامل

تمدد حرارى صغير ، ومقاومة جيدة للتآكل والبلل . الكباسات في محركات البنزين والديزل .

(ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٢,٦٨ جرام / سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : 591°م
 درجة حرارة خط الجمود : 538°م
 الحرارة النوعية عند 100°م : $0,23$ كالورى / جرام
 الحرارة الكامنة للانصهار : 93 كالورى / جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السباكة فى قوالب دائمة) :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الاستطالة	الصلادة	مقاومة القص	معامل المرونة
كجم / سم ²	كجم / سم ²	%	(عدد برينل)	كجم / سم ²	كجم / سم ²
2520	1960	0,5	100	1680	721000

(هـ) الحدود الكيميائية (%) :

س	نح	منغ	نك	شوائب (حد أقصى)
11 - 13	0,5 - 1,5	0,7 - 1,3	2 - 3	1,3

(و) النطاق الحرارى للانصهار : $677 - 618^{\circ}\text{م}$
 درجة حرارة السباكة : $677 - 688^{\circ}\text{م}$

* * *

لو - 12 س - 1,5 نح - 0,7 من - 0,7 منغ (السبكة 11 د)
--

(ا) الاستخدامات : الكباسات فى آلات الاحتراق الداخلى التى تجمع بين المتانة العالية عند درجات الحرارة المرتفعة ، وضآلة معامل التمدد الحرارى .

(ب) الكثافة عند 20°م : $2,7$ جرام / سم³

(د) الخواص الميكانيكية :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الاستطالة	الصلادة
كجم / سم ^٢	كجم / سم ^٢	%	(عدد برينل)
٣٠١٠	٢٦٦٠	١	١٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (%) :

نح	منغ	من	س
٢ - ١	١ - ٠,٤	٠,٩ - ٠,٥	١١ - ١٣

* * *

لو - ٤ - نح - ٢ - نك - ١,٥ - منغ (السبكة ١٢ د)

(ا) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب متانة ممتازة عند درجات الحرارة العالية . كبنسات الموتوسيكلات ومحركات الديزل والطائرات . رؤوس الأسطوانات التي تبرد بالهواء . غلفة المولدات الكهربائية في الطائرات .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م :	٢,٨١ جرام / سم ^٣
(ج) درجة حرارة خط السيولة :	٦٢٩°م
درجة حرارة خط الجمود :	٥٣٥°م
الحرارة النوعية عند ١٠٠°م :	٠,٢٣ كالوري / جرام
الحرارة الكامنة للانصهار :	٩٢ كالوري / جرام
(د) الخواص الميكانيكية :	

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الاستطالة	الصلادة	مقاومة القص	معامل المرونة
كجم / سم ^٢	كجم / سم ^٢	%	(عدد برينل)	كجم / سم ^٢	كجم / سم ^٢
١٨٩٠	١٢٦٠	١	٧٠	١٤٧٠	٧٢١٠٠٠
٢٨٠٠	٢٣٨٠	١	١٠٥	١٨٢٠	٧٢١٠٠٠

السبكة الرملية

السبكة في قوالب دائمة

(هـ) الحدود الكيميائية (%) :

نح ٤,٥ - ٣,٥
مغ ١,٨ - ١,٢
نك ٢,٣ - ١,٧

الشوائب (حد أقصى) ٢,١

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٧ - ٨١٦ °م

درجة حرارة السباكة : ٦٧٧ - ٧٨٨ °م

لو - ٤,٥ نح
(السبيكة ١٣ د)

(ا) الاستخدامات : التطبيقات التى تتطلب خواص شد ممتازة وقابلية عالية للتشكيل . علب الحدافات ، علب المحاور الخلفية ، عجلات السيارات ، عجلات الطائرات .

(ب) الكثافة عند ٢٠ °م : ٢,٨١ جرام / سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٤٦ °م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٤٩ °م

الحرارة النوعية عند ١٠٠ °م : ٠,٢٣ كالورى / جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالورى / جرام

(د) الخواص الميكانيكية :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الاستطالة	الصلادة	مقاومة القص	معامل المرونة
كجم / سم ^٢	كجم / سم ^٢	%	(عدد برينل)	كجم / سم ^٢	كجم / سم ^٢
(١٤) ٢٢٤٠	١١٢٠	٨,٥	٦٠	١٦٨٠	٧٢١٠٠٠
(٢٤) ٢٥٢٠	١٦٨٠	٥	٧٥	٢١٠٠	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية « سباكة رملية » (%) :

نح ٥ - ٤

الشوائب (حد أقصى) ١,٥ (ح ، س ، مغ ، خ)

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٧ - ٨١٦ °م

درجة حرارة السباكة : ٦٧٧ - ٧٨٨ °م

لو - ٤,٥ نخ - ٢,٥ س
(السبكة ١٤)

(١) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب خواص شد ممتازة وقابلية عالية للتشكيل . أجزاء ضبط مدفع الطائرة . عجلات الطائرات . هياكل المقاعد في عربات السكك الحديدية . أذرع التوصيل في الكباسات . مضخات الوقود .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٧٨ جم / سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٢٧°م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٢٧°م

الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠,٢٣ كالورى / جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالورى جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السبائك في قوالب دائمة) :

مقاومة الشد كجم / سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم / سم ^٢	الاستطالة %	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم / سم ^٢
(١٤) ٢٨٠٠	١٥٤٠	١٠	٧٥	٢١٠٠
(٢٤) ٣١٥٠	٢٣١٠	٥	٩٠	٢٢٤٠
(٣٤) ٢٨٢٠	١٤٠٠	٤,٥	٨٠	٠٠

معامل المرونة : ٧٢١٠٠٠ كجم / سم^٢

(هـ) الحدود الكيميائية « السبائك في قوالب دائمة » (%) :

نخ ٥-٤

س ٣-٢

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٧ - ٨١٦°م

درجة حرارة السبائك : ٦٧٧ - ٧٨٨°م

لو - ٣,٨ مغ
(السبكة ١٥ د)

(أ) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب مقاومة ممتازة للتآكل الكيميائي ، ولعائناً دائماً لا ينطوي . أدوات حفظ وتصنيع الألبان ، وأواني الطعام ، وأواني الطهي . لوازم الأعمال الصحية والكيميائية .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٦٥ جرام / سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٤١°م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٧٩°م

الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠,٢٣ كالوري / جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالوري / جرام

(د) الخواص الميكانيكية (الشبكة الرملية) :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الاستطالة	الصلادة	مقاومة القص	معامل المرونة
كجم / سم ^٢	كجم / سم ^٢	%	(عدد برينل)	كجم / سم ^٢	كجم / سم ^٢
١٧٥٠	٨٤٠	٩	٥٠	١٤٠٠	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية « الشبكة الرملية » (%) :

٣,٢ - ٤,٣ مغ

الشوائب (حد أقصى) (٠,١ % نح ، ٠,٦ % ح ، ٠,٣ % س)

(و) النطاق الحراري للانصهار : ٦٧٧ - ٨١٦°م

درجة حرارة الشبكة : ٦٧٧ - ٧٨٨°م

لو - ٣,٨ مغ - ١,٨ خ
(السبكة ١٦ د)

(أ) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب مقاومة جيدة للتآكل الكيميائي وانطفاء البريق . أدوات الطهي .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٦٥ جرام / سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٣٨°م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٦٦ م°
 الحرارة النوعية عند ١٠٠ م° : ٠,٢٣ كالورى/جرام
 الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السباكة فى قوالب دائمة) :

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة الخصوع كجم/سم ^٢	الاستطالة %	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم/سم ^٢	معامل المرونة كجم/سم ^٢
١٨٩٠	١١٢٠	٧	٦٠	١٥٤٠	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية « السباكة فى قوالب دائمة » (%) :

مغ ٤,٣-٣,٥
 خ ٢,٢-١,٤
 الشوائب (حد أقصى) (٠,١ % نح ، ٠,٣ % من ، ٠,٤ % ح)

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٧ - ٨١٦ م°
 درجة حرارة السباكة : ٦٧٧ - ٧٨٨ م°

* * *

لو - ٨ مغ
 (السبيكة ١٧ د)

(أ) الاستخدامات : التطبيقات التى تتطلب خواصا ميكانيكية ممتازة ، ومقاومة عالية
 للتآكل الكيميائى ، وخواصاً تشطيفية جذابة .

(ب) الكثافة عند ٢٠ م° : ٢,٥٣ جرام/سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٢١ م°
 درجة حرارة خط الجمود : ٥٤١ م°
 الحرارة النوعية عند ١٠٠ م° : ٠,٢٣ كالورى/جرام
 الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السبابة في قوالب معدنية) :

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم/سم ^٢	الاستطالة %	معامل المرونة كجم/سم ^٢
٢٩٤٠	٢٣١٠	٧	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية «السبابة في قوالب معدنية» (%):

مغ الشوائب (حد أقصى) (٨ و١ ح ، ٢ و٠ نح ، ٣ و٠ س ، ١ و٠ من) ٧,٥ - ٨,٥

(و) النطاق الحراري للانصهار : ٦٤٩ - ٥٧٦٠ م

درجة حرارة السبابة : ٦٣٥ - ٥٧٠٤ م

* * *

لو - ١٠ مغ (السيكة ١٨ د)

(أ) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب قابلية ممتازة للتشكيل ومقاومة عالية للتآكل الكيميائي مع متانة ومطيلية كبيرتين . هياكل عربات الركاب في السكك الحديدية .

(ب) الكثافة عند ٢٠ م : ٥٢,٥٨ م

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٥٦٢١ م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٤٩٩ م

الحرارة النوعية عند ١٠٠ م : ٠,٢٣ كالوري/جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٢ كالوري/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السبابة الرملية للسيكة ١٤) :

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم/سم ^٢	الاستطالة %	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم/سم ^٢	معامل المرونة كجم/سم ^٢
٣٢٢٠	١٧٥٠	١٤	٧٥	٢٣١٠	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية « السباكة الرملية » (%) :

١٠,٦-٩,٥

منع

الشوائب (حد أقصى) (٠,٢ نج ، ٠,٣ ح ، ٠,٢ س ، ٠,١ من)

* تؤدي زيادة نسبة النحاس أو النيكل في هذه السبيكة ، إلى انخفاض المقاومة للتآكل الكيميائي ، كما تؤدي زيادة نسبة الحديد ، أو السيليكون ، أو المنجنيز ، إلى انخفاض الخواص الميكانيكية .

(و) النطاق الحراري للانصهار : ٦٧٧ - ٨١٦ °م
درجة حرارة السباكة : ٦٧٧ - ٧٨٨ °م

لو - ٦ س - ٣,٥ نج
(السبيكة ١٩ د)

(أ) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب خواصا سبكية جيدة ، وقابلية كبيرة للحام ، ومتانة مناسبة ، رؤوس اسطوانات السيارات . علب المرافق في محركات الاحتراق الداخلي .

(ب) الكثافة عند ٢٠ °م : ٢,٧٧ جرام/سم^٣
(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٠٤ °م
درجة حرارة خط الجمود : ٥١٠ °م
الحرارة النوعية عند ١٠٠ °م : ٠,٢٣ كالوري/جرام
الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالوري/جرام
(د) الخواص الميكانيكية (السباكة الرملية ، والسباكة في قوالب دائمة) :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الاستطالة	الصلادة	مقاومة القص
كجم/سم ^٢	كجم/سم ^٢	%	(عدد برينل)	كجم/سم ^٢
السباكة الرملية				
دون معاملة حرارية	١٨٩٠	٢	٧٠	١٦٨٠
(ع ٢)	٢٥٢٠	٢	٨٠	٠٠٠
السباكة في قوالب دائمة				
دون معاملة حرارية	٢٣٨٠	٢,٥	٨٥	١٦٨٠
(ع ٢)	٢٨٠٠	٣	٩٥	٠٠٠

معامل المرونة : ٧٢١٠٠٠ كجم/سم^٢

(هـ) الحدود الكيميائية « السبائك الرملية » ، والسبائك في قوالب دائمة « (%) :

نح ٢,٥ - ٤,٥

س

٧ - ٥

س

الشوائب (١,٢ ح ، ٠,٥ مغ ، ٠,٨ من ، ١ خ)

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٧ - ٨١٦ م^٥

درجة حرارة السبائك : ٦٧٧ - ٧٨٨ م^٥

* * *

لو - ٥ س - ١,٣ نح - ٠,٥ مغ
(السبيكة ٢٠ د)

(أ) الاستخدامات : التطبيقات التى تتطلب قابلية جيدة للسبائك واللحام . أغطية الشحانات فى الطائرات ، أجسام مضخات الوقود ، كباسات ضغوطات الهواء ، رؤوس الإسطوانات التى تبرد بالماء . علب المرافق لمحركات الطائرات التى تبرد بواسطة السوائل . الدثارات المائية .

(ب) الكثافة عند ٢٠ م^٥ : ٢,٧ جرام/سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٢٧ م^٥

درجة حرارة خط الجمود : ٥٧٩ م^٥

الحرارة النوعية عند ١٠٠ م^٥ : ٠,٢٣ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (للسبائك الرملية ، والسبائك فى قوالب دائمة) :

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم/سم ^٢	الاستطالة %	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم/سم ^٢
السبائك الرملية				
(ع ٢) ٢٤٥٠	١٧٥٠	٢,٥	٨٠	٢١٠٠
(ع ٣) ٢٦٦٠	٢٥٢٠	٠,٥	٨٥	١٨٢٠
السبائك فى قوالب دائمة				
(ع ٢) ٣٠١٠	١٨٩٠	٤	٩٠	٢١٠٠
(ع ٣) ٢٨٠٠	٢١٠٠	٢	٨٥	٢١٠٠

معامل المرونة : ٧٢١٠٠٠ كجم/سم^٢

(هـ) الحدود الكيميائية « السباكة الرملية والسباكة في قوالب دائمة » (%) :

الشوائب (حد أقصى)				مغ	نح	س
ح	من	ح	تي			
٠,٦	٠,١	٠,١	٠,٢	٠,٦-٠,٤	١,٥-١	٥,٥-٤,٥

(و) النطاق الحراري للانصهار : ٦٧٧ - ٨١٦ م°

درجة حرارة السباكة : ٦٧٧ - ٧٨٨ م°

* * *

لو ١ س - ٠,٣ مسغ (السبيكة ٢١ د)

(أ) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب قابلية ممتازة للسباكة واللحام ، ومقاومة عالية للتآكل الكيميائي . أجزاء مضخات الطائفة ، بعض التركيبات الميكانيكية وأجزاء التحكم في الطائرات .

(ب) الكثافة عند ٢٠ م° : ٢,٦٨ جرام/سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦١٠ م°

درجة حرارة خط الجمود : ٥٧٩ م°

الحرارة النوعية عند ١٠٠ م° : ٠,٢٣ كالوري/جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالوري/جرام

(د) الخواص الميكانيكية :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الاستطالة	الصلادة	مقاومة القص	
كجم/سم ²	كجم/سم ²	%	(عدد برينل)	كجم/سم ²	
السبائك الرملية					
٢٣١٠	١٦٨٠	٤	٧٠	١٨٩٠	(ع ٢)
٢٣٨٠	٢١٠٠	٢	٧٥	١٢٦٠	(ع ٣)
السبائك في قوالب دائمة					
٢٨٠٠	١٨٩٠	٥	٩٠	...	(ع ٢)
٢٣١٠	...	٥	٧٠	...	(ع ٣)

معامل المرونة ٧٢١٠٠٠ كجم/سم²

(هـ) الحدود الكيميائية « السبائك الرملية والسبائك في قوالب دائمة » (%):

الشوائب (حد أقصى)						
س	منج	نح	ح	من	خ	تي
٧,٥-٦,٥	٠,٢-٠,٤	٠,٢	٠,٦	٠,١	٠,١	٠,٢

(و) النطاق الحراري للانصهار : ٦٧٧ - ٨١٦ م°

درجة حرارة السبائك : ٦٧٧ - ٧٨٨ م°

لو - ٨ س - ١,٥ نج - ٠,٣ مغ - ٠,٣ من
(السبيكة ٢٢ د)

- (أ) الاستخدامات : الأغراض العامة للسباكة الرملية والسباكة في قوالب دائمة لسبيكة الألومنيوم . سباكة محركات الاحتراق الداخلي ، والأجزاء الأخرى من الآلات التي تتعرض لإجهادات عالية عند درجات الحرارة المرتفعة .
- (ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٢,٧٣ جرام/سم^٣
- (د) الخواص الميكانيكية (السباكة الرملية والسباكة في قوالب دائمة) :

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم/سم ^٢	الاستطالة %
السباكة الرملية		
٢١٠٠	١٤٧٠	١,٥
٢٧٣٠	٢١٠٠	١,٥
السباكة في قوالب دائمة		
٢٥٢٠	٠٠٠	١
٣٠٨٠	١٨٩٠	٤

(هـ) الحدود الكيميائية (%) :

٢ - ١	نج
٠,٦-٠,٢	مغ
٠,٦-٠,٢	من
٨,٦-٠,٧	س
٠,٣ % (حد أقصى)	تي
* * *	

لو - ٩,٥ س - ٠,٥ مغ
(السبيكة ٢٣ د)

- (أ) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب قابلية ممتازة للسباكة ومقاومة عالية للتآكل الكيميائي . مختلف المسبوكات التي تتميز بجدرانها وسمكها الرقيق .
- (ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٢,٦٨ جرام/سم^٣
- (ج) درجة حرارة خط السيولة : ٥٩١° م
- درجة حرارة خط الجمود : ٥٦٦° م
- الحرارة النوعية عند ١٠٠° م : ٠,٢٣ كالوري/جرام
- الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالوري/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السباكة في قوالب معدنية) :

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم/سم ^٢	الاستطالة %	معامل المرونة كجم/سم ^٢
٢٩٤٠	١٦١٠	١,٨	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (%) :

س	٩ - ١٠
منغ	٠,٤ - ٠,٦
الشوائب (حد أقصى)	٢,٠ ح ، ٠,٦ ن ، ٠,٣ من
(و) النطاق الحرارى للانصهار	: ٦٤٩ - ٧٦٠ م°
درجة حرارة السباكة	: ٦٣٥ - ٧٠٤ م°
	* * *

لو - ٨,٥ - ٣,٥ نح
(السبكة ٢٤ د)

(أ) الاستخدامات : التطبيقات للأغراض العامة التى تتطلب قابلية جيدة للسباكة .

(ب) الكثافة عند ٢٠ م°	: ٢,٧٦ جرام/سم ^٣
(ج) درجة حرارة خط السيولة	: ٥٨٨ م°
درجة حرارة خط الجمود	: ٥٢١ م°
الحرارة النوعية عند ١٠٠ م°	: ٠,٢٣ كالورى/جرام
الحرارة الكامنة للانصهار	: ٩٣ كالورى/جرام
(د) الخواص الميكانيكية (السباكة في قوالب معدنية) :	

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم/سم ^٢	الاستطالة %	معامل المرونة كجم/سم ^٢
٣١٥٠	١٧٥٠	٢	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (%) :

س ٩,٥ - ٧,٥

نح ٤ - ٣

الشوائب (حد أقصى) ٢ ح ، ١ د ، ١ مغ ، ٠,٥ من

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٤٩ - ٧٦٠ °م

درجة حرارة السباكة : ٦٣٥ - ٧٠٤ °م

* * *

لو - ٦,٥ ق - ١ نح - ١ نك
(السبكة ٢٥ د)

(أ) الاستخدامات : التطبيقات التى تتطلب خواصا تحميلية ممتازة . المحامل وكراسى التحميل .
الجلب ، وصلات المواسير .

(ب) الكثافة عند ٢٠ °م : ٢,٨٩ جرام/سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٤٩ °م

درجة حرارة خط الجمود : ٢٣٢ °م

الحرارة النوعية عند ١٠٠ °م : ٠,٢٣ كالورى/جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السباكة فى قوالب دائمة) :

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم/سم ^٢	الاستطالة %	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم/سم ^٢	معامل المرونة كجم/سم ^٢
١٥٤٠	٧٠٠	١٢	٤٥	٩٨٠	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (%) :

ق ٧ - ٥,٥

نح ١,٣ - ٠,٧

نك ١,٣ - ٠,٧

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٤٩ - ٧٣٢ °م

درجة حرارة السباكة : ٦٤٩ - ٧٠٤ °م

لو - ٥,٥ خ - ٥,٦ م - ٥,٥ كر - ٥,٢ تي
(السيعة ٢٦ د)

(أ) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب خواصاً ميكانيكية جيدة دون حاجة إلى معاملة حرارية . المقاومة للصدمات وللتآكل الكيميائي ، قابلية التشغيل ، ثبات الأبعاد . كباسات ضغوطات الهواء ، أجزاء الآلات والمكينات التي تتعرض للصدمات .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٨١ جرام/سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٥٧٦°م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٧٢°م

الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠,٢٣ كالوري/جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالوري/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السيعة الرملية) :

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم/سم ^٢	الاستطالة %	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم/سم ^٢	معامل المرونة كجم/سم ^٢
٢٤٥٠	١٧٥٠	٥	٨٠	١٩٤٦	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (%) :

خ ٥ - ٦
م ٥,٥ - ٥,٦
كر ٥,٤ - ٥,٦
تي ٥,١ - ٥,٣

(و) النطاق الحراري للانصهار : ٦٧٧ - ٨٠٢°م

درجة حرارة السيولة : ٦٧٧ - ٨٠٢°م

الباب السابع

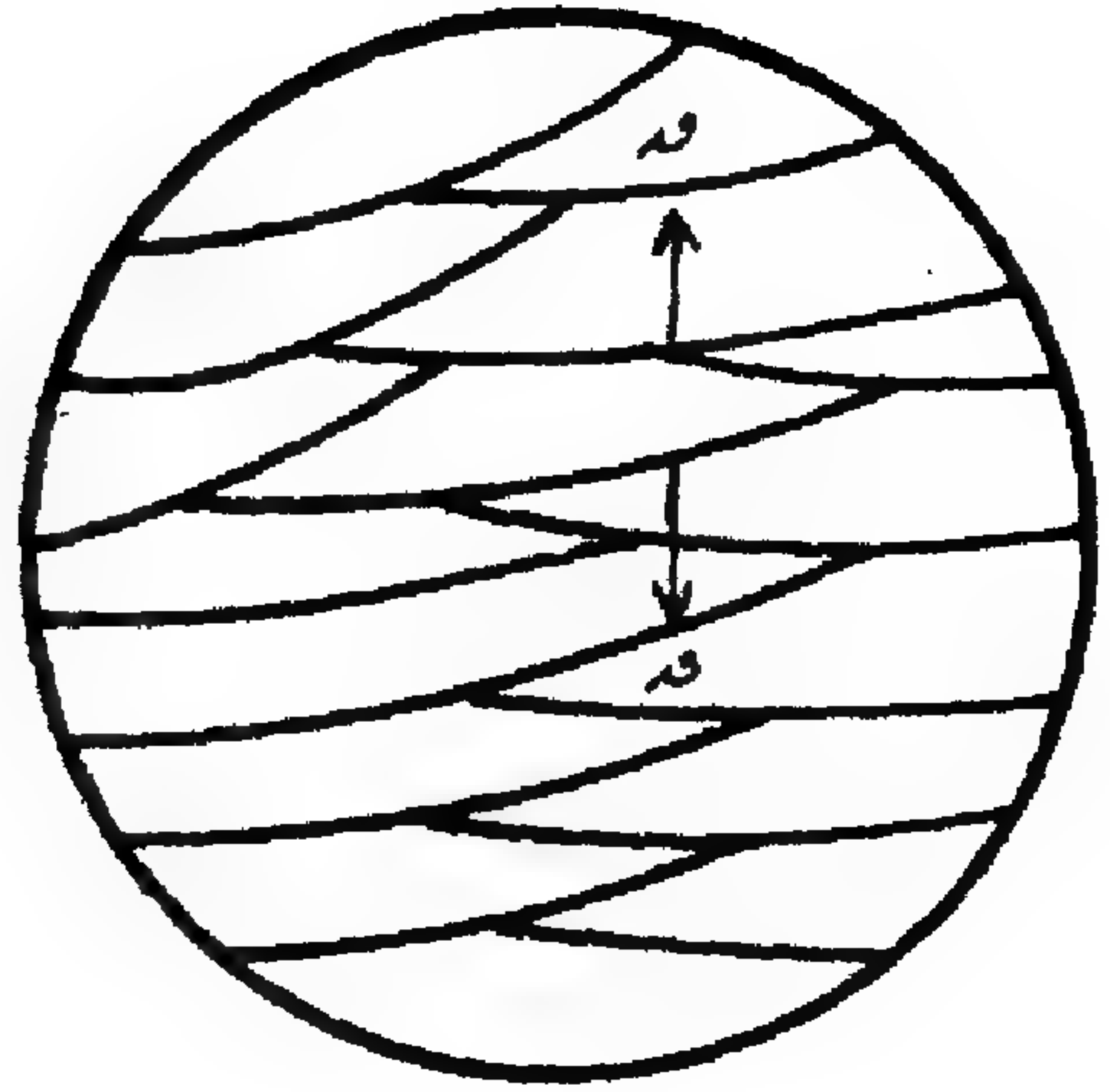
تآكل سبائك الألومنيوم وتأثير الإجهادات الداخلية

يمكن القول عموماً بأن مقدار الإجهاد الذي يلزم لإحداث تصدعات مؤثرة داخل بنية المعدن يكون كبيراً ، ويتراوح بين نصف إلى ثلاثة أرباع مقدار مقاومة الخضوع للمعدن ، كما يجب أن يستمر هذا الإجهاد مسلطاً على المعدن لفترة زمنية كافية . وعليه فإن الإجهادات التي تتولد عن الأحوال العادية التي يجرى تطبيقها في الحياة العملية ، نادراً ما تسبب تصدع بنية المعدن . وفي أغلب الأحوال ، فإنه من المرجح أن تسبب الإجهادات الزائدة التي تتخلف عن عمليات التسقية ، والتشكيل ، واللحام وغيرها ، مثل هذه الظاهرة .

وعلى وجه العموم ، فإنه من المتفق عليه أن تدهور المعدن ينتج عن إجهادات شد ، أو على الأقل ، إجهادات لها مركبات شد تؤثر بدرجة كافية على سطح المعدن ، حيث تتوافر مباشرة مع ظروف أكالة ، مثل هذه الإجهادات تميل كثيراً لإحداث تصدعات هدامة في بنية المعدن ، عندما تؤثر في اتجاه مستعرض مع الألياف الطولية للبنية المعدنية .

فمثلاً ، في حالة المواسير المصنوعة من سبائك الألومنيوم التي تعرضت للمعاملة الحرارية ، فإن الإجهادات المستعرضة تبلغ نصف قيمة الإجهادات الطولية ، ومن ثم يحدث التآكل لتصدع بنية الشبكة نتيجة الإجهادات الطولية ، بسبب إجهادات مستعرضة أقل منه ، وفي الواقع ، فإن هذه الإجهادات المستعرضة تعمل على سحب وفصل ألياف البنية المعدنية بعيداً عن بعضها ، مما يؤدي إلى حدوث تصدعات تؤدي إلى مزيد من تدهور المعدن (كما في الشكل ١١١) ، وهذه الكيفية ينعدم وجود أية تصدعات أو شروخ مستعرضة في بنية المعدن .

وفي كثير من المعادن التي تتعرض لهذه الإجهادات الداخلية المتخلفة عن عمليات المعاملة الحرارية وأساليب التشكيل ، فإنه من الممكن إزالة هذه الإجهادات ، أو على الأقل تخفيف حدتها ، ويتم ذلك بمعاملة المعدن حرارياً بطريقة ملائمة ، حيث يجرى تسخينه إلى مادون درجة الحرارة اللازمة لإعادة تبلوره . ولكن لسوء الحظ ، فإنه عند اتخاذ هذا الإجراء لسبائك الألومنيوم التي عوملت حرارياً تفقد الخواص الميكانيكية ، وتنخفض مقاومة المعدن لعوامل التآكل المختلفة لهذه السبائك ، نتيجة



شكل (١١١)

تتسبب الإجهادات الزائدة التي تتخلف عن عمليات التسقية ، والتشكيل ، واللحام وغيرها . . في تعرض سبائك الألومنيوم لقوى شد تؤدي إلى تصدع بنية المعدن ، وفي النهاية تؤدي إلى انهيار الشبكة كلية

لرفع درجة حرارتها إلى ما دون درجة حرارة إعادة التبلور ، ولذلك فإنه في كثير من الأحيان ، يجري تشكيل هذه السبائك بعد تسقيتها مباشرة .

وعند إجراء المعاملة الحرارية لقطع من المنتجات التي لها مقاطع مستعرضة كبيرة ، فإنه يتم تسقيتها سريعاً ، في ماء بارد ، حتى تكتسب أقصى مقاومة للتآكل ، ولكن ذلك يؤدي - من ناحية أخرى - إلى تخلف إجهادات حادة بها .

وقد وجد عملياً أنه في حالة بعض المشغولات كبيرة الحجم ، يفضل لبعض سبائك الألومنيوم ، أن تتم عملية التسقية في ماء يغلي حتى يتلافى خلق الإجهادات الحادة التي من شأنها أن تؤدي إلى تصدع بنية الشبكة وتدهورها .

العامل الكهروكيميائي :

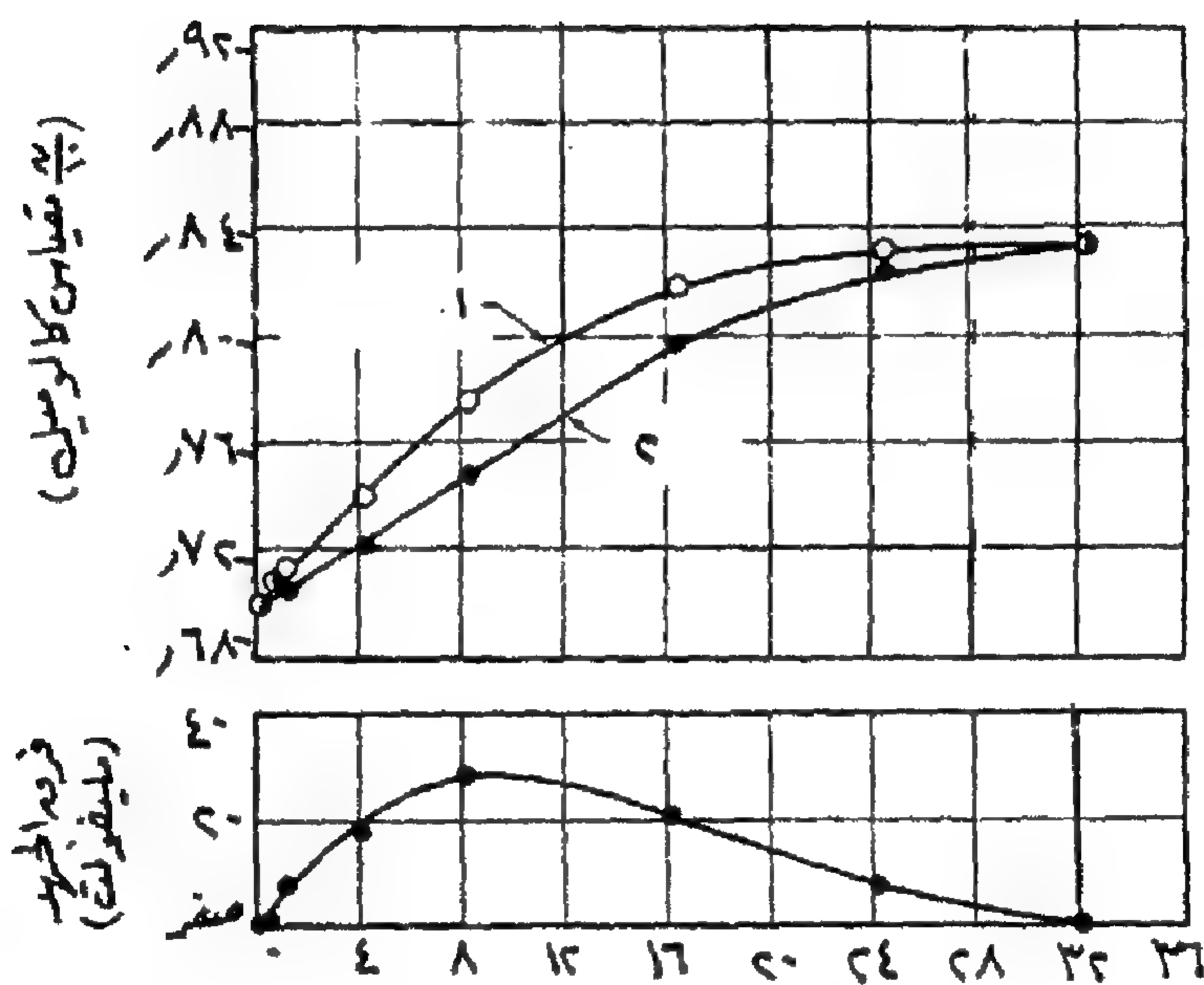
يمكن توضيح أهمية العلاقات الكهروكيميائية التي تنشأ داخل التركيب البنيائي للفلز أو السبيكة ، باعتبار تأثير المعاملات الحرارية على قابلية سبيكة من الألومنيوم والنحاس للتصدع ، نتيجة للإجهادات الناشئة وتأثيرها على تآكل هذه السبيكة .

وفي سبيكة من الألومنيوم والنحاس تحتوي على ٤٪ من النحاس ، يتغير فرق الجهد القطبي للسبيكة من حوالي - ٨٤٠ فولت إلى - ٦٩٠ فولت ، نتيجة لتذويب مكونات هذه السبيكة في محلول ميثالورجي متجانس من الألومنيوم والنحاس .

ومن الممكن إجراء التعتيق الإزماني اصطناعياً عند درجة حرارة ١٩٠°م ، وبذلك ترسب أصناف (أطوار) جديدة من المحلول المتجانس ، مما يرفع من قيمة الجهد القطبي للسبيكة أو على الأقل يغيرها .

ومن الممكن قياس الجهد عند الحدود الحبيبية وفي مراكز الحبيبات البلورية ، وبين الشكل (١١٢) تغير الجهد القطبي عند الحدود الحبيبية ، وفي مراكز الحبيبات على امتداد الفترة الزمنية

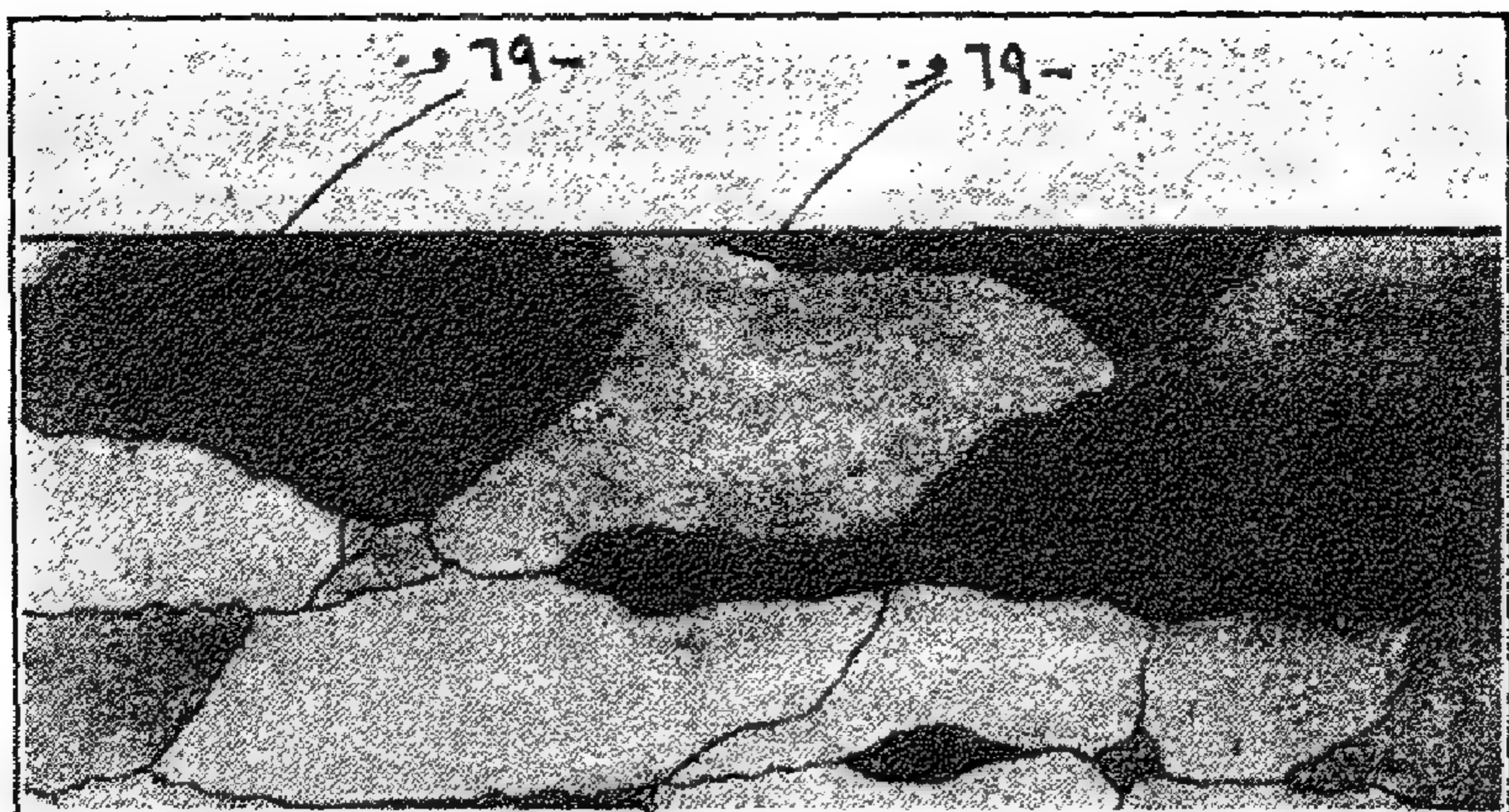
للتعتيق تحت 190°C ، مما ينشأ عنه ترسب بعض الأصناف الجديدة على الحدود الحبيبية ، بسرعة أكبر من ترسب هذه الأصناف داخل الحبيبات نفسها ، ومن ثم تصبح حدود الحبيبات أكثر أنودية (أكثر إيجابية للشحنة الكهربائية) عن مراكز الحبيبات . وباستمرار عملية التعتيق ، نصل إلى أقصى فرق في الجهد بين حدود الحبيبات ومراكزها ، كما يتضح من المنحنى على الرسم البياني الأسفل ، بعد تعتيق هذه السبيكة لمدة ٨ أو ٩ ساعات عند هذه الدرجة من الحرارة (190°C) . وبتعدى هذه الفترة ، يبدأ الترسب داخل مراكز الحبيبات ، بنفس المعدل الذي يحدث به على طول حدود الحبيبات . وبتسخين السبيكة لمدة ٣٢ ساعة (تقريباً) ، يفترض إتمام الترسب بالكامل سواء داخل الحبيبات أو على حدودها . ومن ثم ينخفض الفرق في الجهد القطبي بينهما عملياً إلى الصفر تقريباً .



شكل (١١٢)

تغير الجهد القطبي عند الحدود الحبيبية وفي مراكز الحبيبات بمرور الوقت عند 190°C
 ١ - الحدود بين الحبيبات
 ٢ - مركز الحبيبات

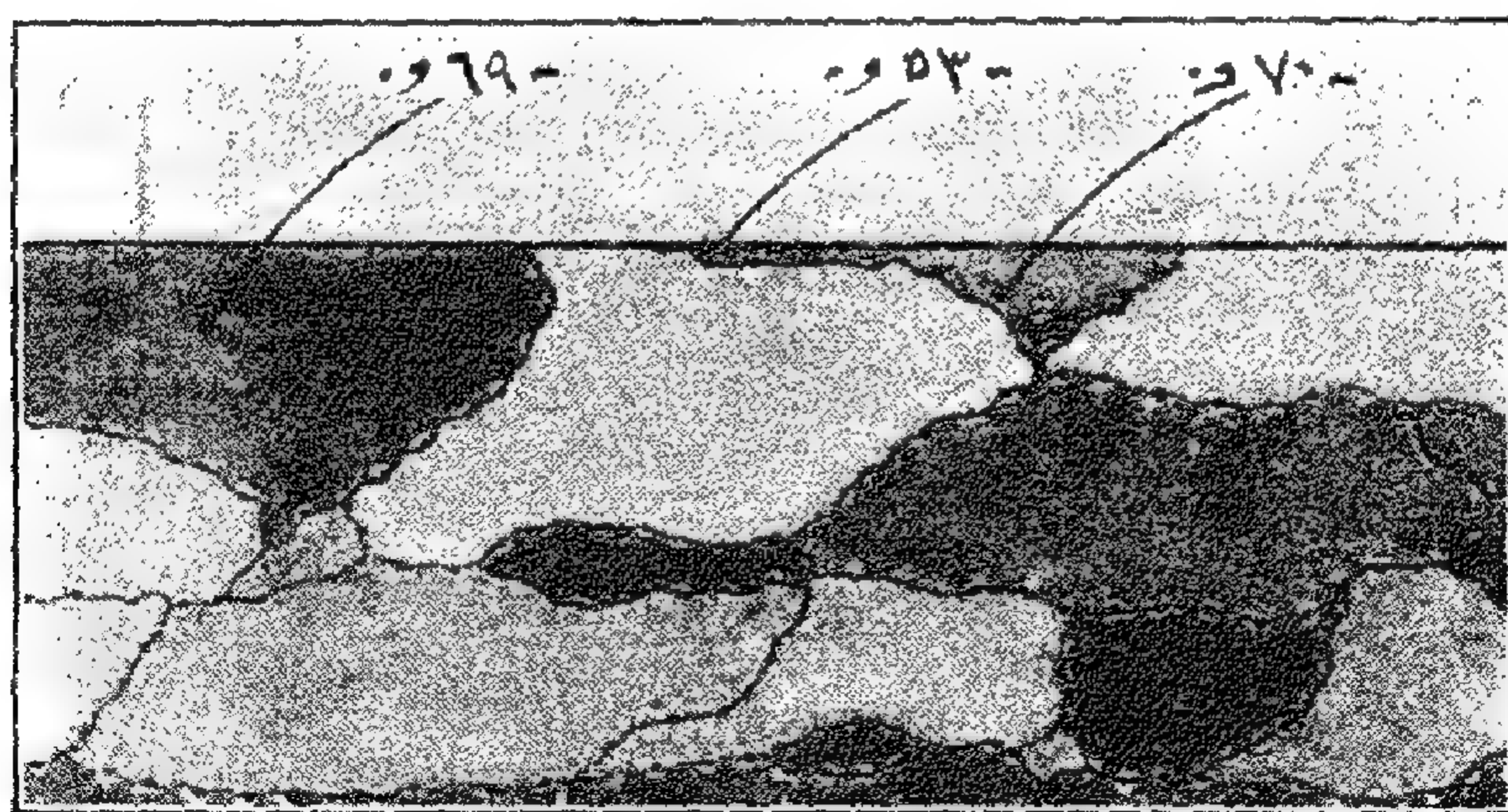
وتوضح الرسومات التوضيحية في الأشكال (١١٣ ، ١١٤ ، ١١٥ ، ١١٦) التغيرات التي تطرأ على التركيب البنائي للسبيكة ، ومن ثم تؤثر على الجهد القطبي له . ويوضح الشكل (١١٣) محلولاً ميتالورجياً متجانساً من النحاس والألومنيوم ، تكون نتيجة تسقية سريعة ، تبعثها معاملة حرارية لإذابة المكونات والأصناف (الأطوار) المختلفة في محلول متجانس ، ويبلغ الجهد القطبي - ٦٩ فولت سواء داخل الحبيبات البلورية ، أو على حدودها .



شكل (١١٣)

رسم توضيحي للبنيان المجهرى لسبيكة من الألومنيوم والنحاس (٤ ٪ نحاس) .
ويبين الرسم التوزيع المنتظم للمحلول الجامد بعد اجراء عملية تسقية سريعة فور تذاب المكونات
في محلول متجانس ، ومن ثم نرى أن الجهد القطبي داخل الحبيبات يساوى تماما الجهد القطبي
للحدود بين الحبيبات

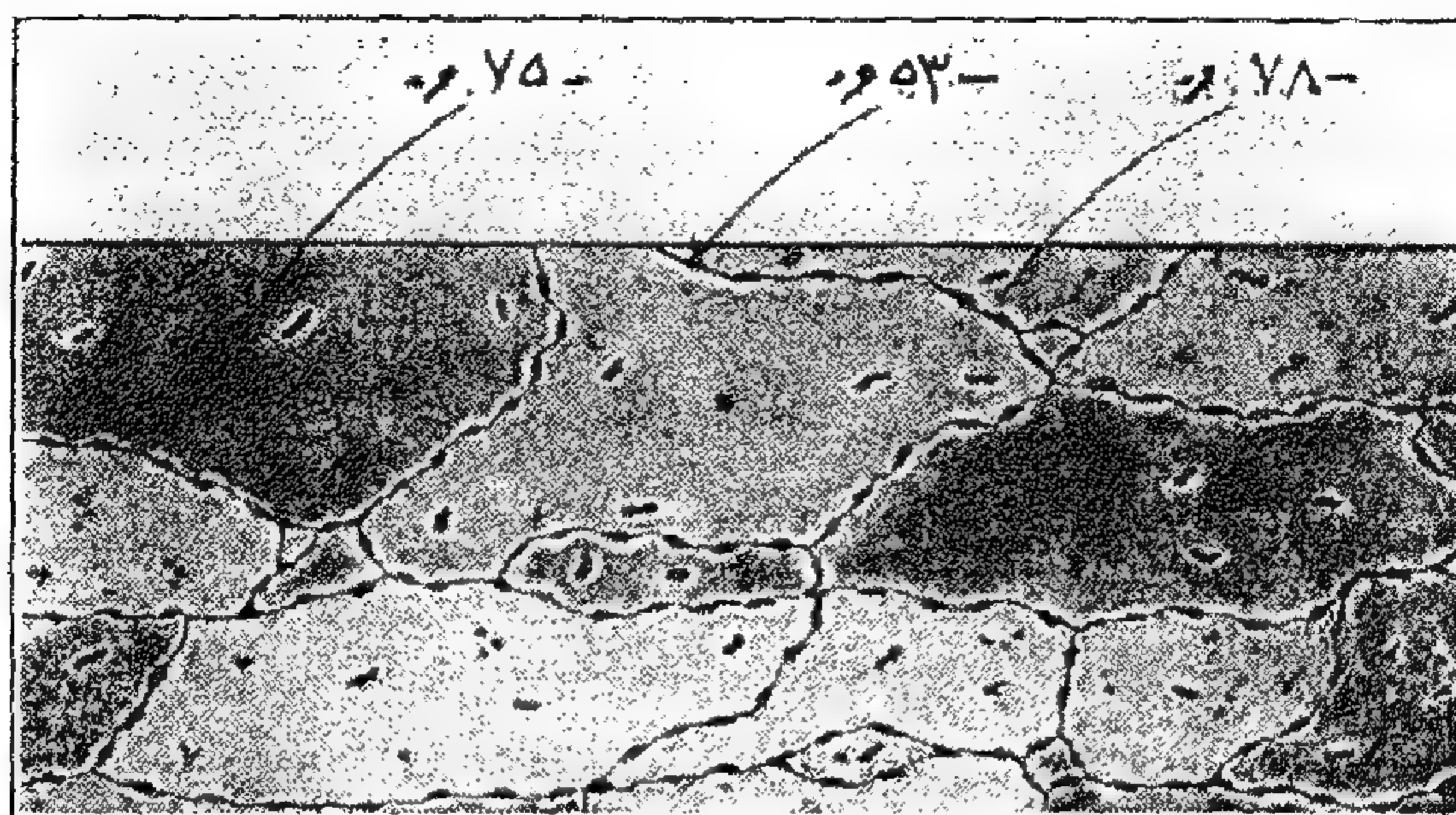
ويوضح الشكل (١١٤) بداية الترسب خلال الساعات الأولى للتسخين إلى ١٩٠°م على طول
الحدود الفاصلة بين الحبيبات ، ونتيجة لذلك لم يتغير الجهد القطبي للحبيبات بصورة ملموسة ، بينما
أصبح الجهد القطبي للأصناف الجديدة المترسبة على الحدود بين الحبيبات أكثر أنودية (أكثر
إيجابية) حيث يبلغ - ٥٣,٥ فولت .



شكل (١١٤)

نفس السبيكة كما في الشكل السابق (١١٣) ، بعد تعريضها لفترة تسخين قصيرة ، مما نجم عنه
بدء ترسب صنف (طور) جديد على الحدود بين الحبيبات . يحيط بكل جسم من الصنف
المترسب بعض المحلول الجامد أكثر أنودية من المتبقى

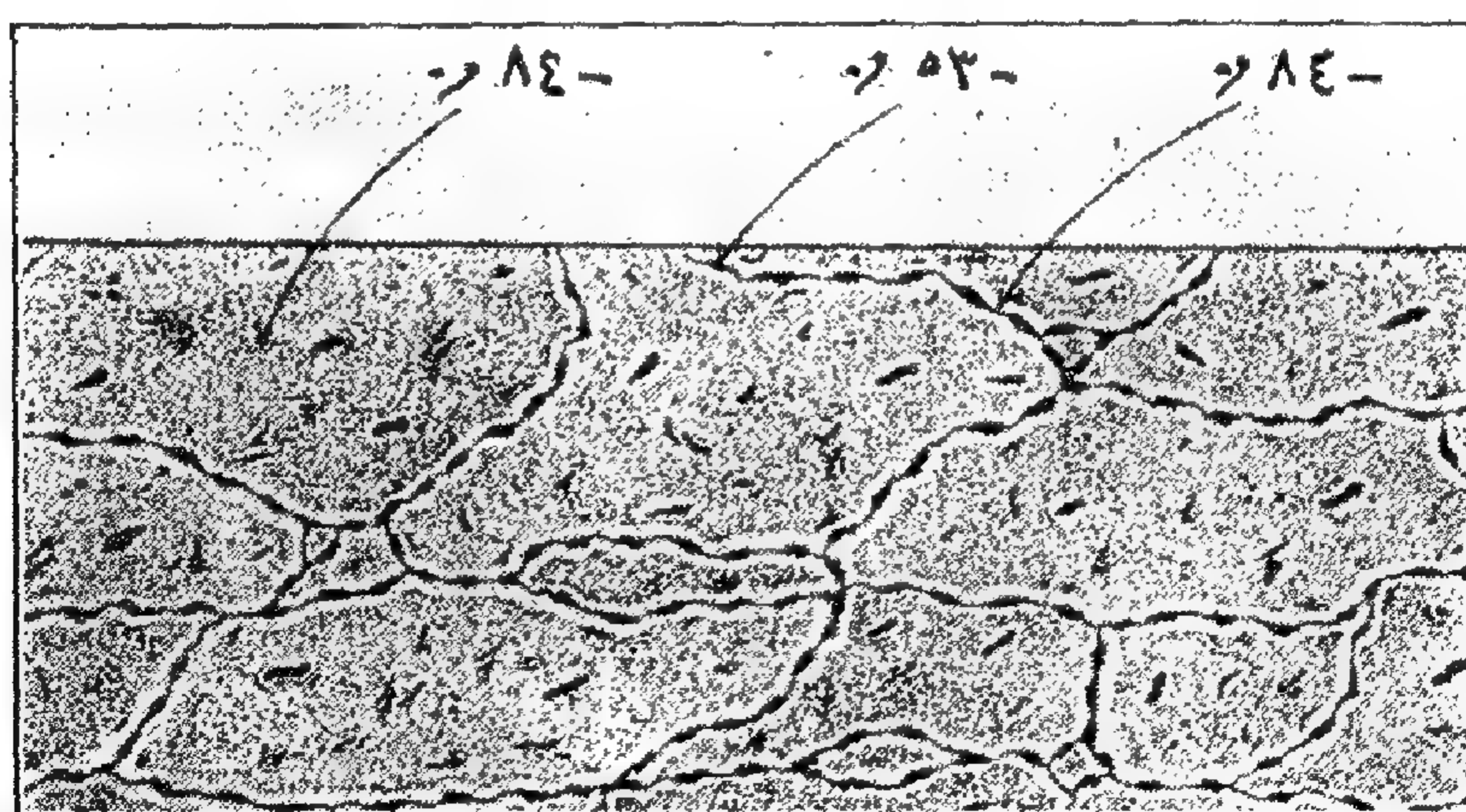
ويبين الشكل (١١٥) الحالة التي توجد عليها الحبيبات البلورية عند بلوغها أقصى فرق في الجهد القطبي بين مراكزها وحدودها . وعند هذه المرحلة ، تكون الأصناف الأكثر أنودية (أكثر إيجابية) التي ترسبت على طول الحدود الفاصلة بين الحبيبات ، جهة متصلة من صنف أكثر أنودية عن الحبيبات ذاتها وفي هذه الحالة تبدى الشبكة ميلا ملحوظاً للتآكل بين حبيباتها البلورية ، ومن ثم انهيارها .



شكل (١١٥)

نفس الشبكة كما في الشكل (١١٣) بعد تعرضها لفترة تسخين كافية أدت إلى بلوغ الفرق بين الجهدين القطبيين داخل الحبيبات وعلى الحدود بينها قيمته العظمى

ويوضح الشكل (١١٦) التركيب البنائي للشبكة بعد استكمال ترسب الأصناف الجديدة خلال حبيباتها البلورية وعلى حدودها الفاصلة . في هذه الحالة ، لا يوجد أي اختلاف ملموس في فرق



شكل (١١٦)

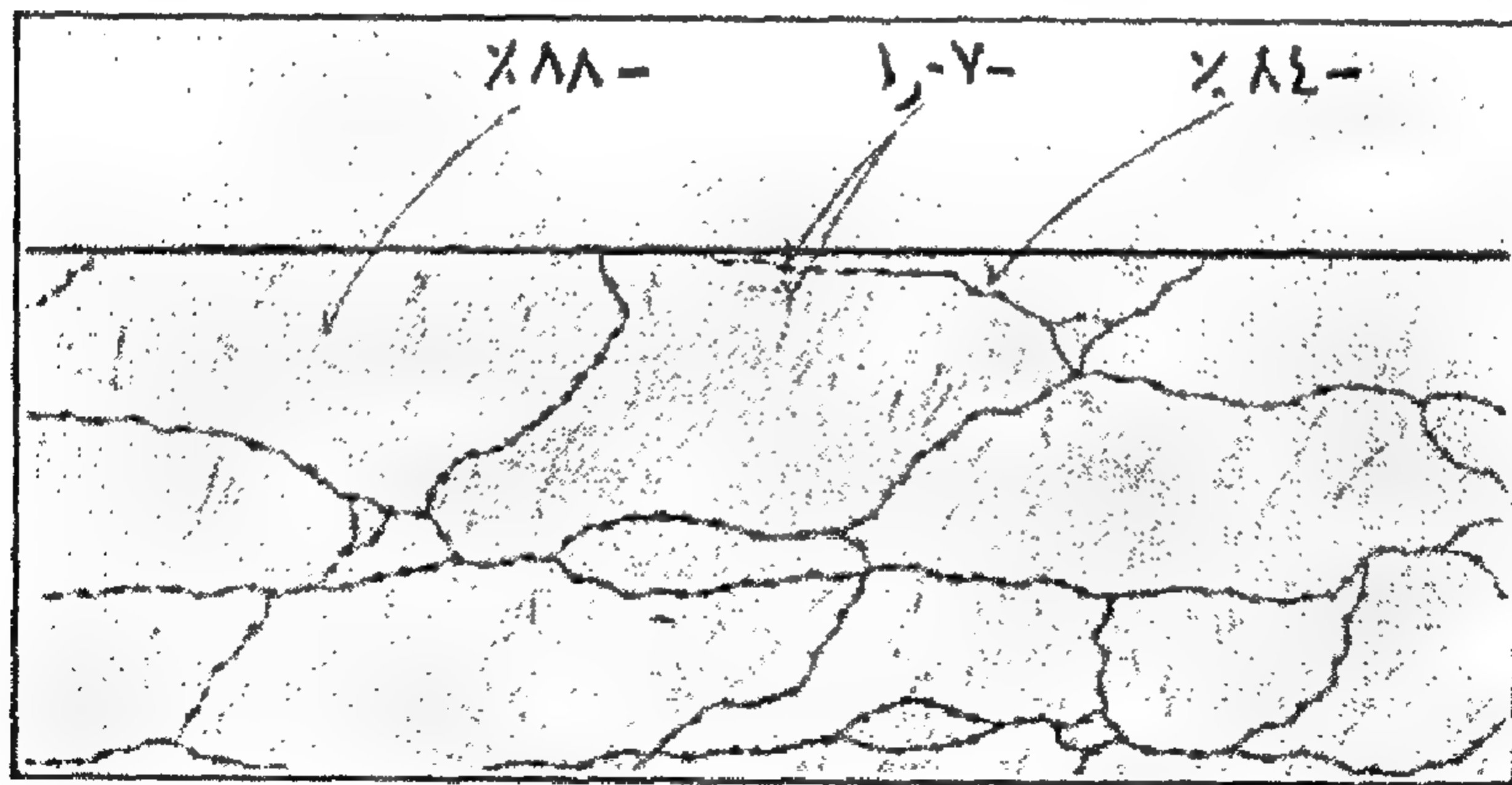
نفس الشبكة كما في الشكل (١١٣) بعد تعرضها لفترة تسخين طويلة أدت إلى إتمام عملية الترسيب ، ومن ثم أصبح الجهد القطبي في مركز الحبيبات مساوياً للجهد القطبي على الحدود بينها ، وكلاهما أكثر أنودية من الجهد القطبي للجسيمات المترسبة .

الجهد بين الحدود الفاصلة للحبيبات والحبيبات نفسها ، ومن ثم تقل حدة التآكل إلى حد بعيد ، لدرجة يمكن معها إهماله . ولكن إذا وضعت السبيكة بصورتها الراهنة في محلول إلكتروليتي ، فإن التآكل سوف ينشأ بين المكونات وبين المعدن الأساسي .

ويعطى الجدول (٥) عدداً من قيم الجهود القطبية التي تكثر الحاجة إليها عملياً ، في حالة سبائك الألومنيوم التجارية . ويلاحظ أن إضافة المنجنيز أو المغنسيوم والسيليكون ، بنسبة وجودهما في المركب الكيميائي مغنيس ، لا يغير كثيراً من الجهد القطبي للسبيكة . فبينما يعمل النحاس في المحلول الجامد على خفض قيمة الجهد القطبي ، يعمل كل من المغنسيوم والزنك في المحلول الجامد على رفعه .

وفي سبائك الألومنيوم والمغنسيوم ، التي تحتوي على كمية من المغنسيوم ، تتعدى حد ذائبته العظمى ، يصبح المكون الذي يحتوي على الألومنيوم والمغنسيوم أنودياً (بمثابة قطب موجب) بالنسبة إلى المحلول الجامد المتكون من الألومنيوم والمغنسيوم .

وتحت بعض الظروف الخاصة ، قد ينشأ الترسب بصورة متصلة في بعض المناطق ، سواء على الحدود الفاصلة بين الحبيبات أو خلال مستويات الانزلاق التي نشأت خلال تشوه لدن تعرضت له السبيكة . وإذا وجدت ظروف مواتية ، فإن نوعاً من التآكل سوف ينشأ خلال الجسيمات المترسبة ، وفي وجود إجهادات شد مؤثرة عند سطح السبيكة ، فإن بنيان المعدن سوف يتعرض للانهيار والدمار ، نتيجة لصدوع وشروخ نشأت بفعل هذا التآكل ، وبين الشكل (١١٧) رسماً توضيحياً لما يحدث للبنيان الدقيق للسبيكة .



شكل (١١٧)

رسم توضيحي للبنيان المجهرى لسبيكة من الألومنيوم والمغنسيوم (١٠٪ مغنسيوم) تمت درفلتها على البارد . توجد المناطق المتصلة من الجسيمات الأنودية التي ترسبت على الحدود بين الحبيبات ومستويات الانزلاق .

ولقد تأكدت أهمية العلاقات الكهروكيميائية في مجال ميكانيكية تآكل المعادن نتيجة لتأثير الإجهادات المختلفة ، إذ أمكن بتوصيل تيار كهربائي كاثودي ، منع انهيار سبيكة في محلول ، حيث تتعرض لإجهادات تآكل فعالة .

جدول (٥)

يبين الجهود القطبية للمحاليل الجامدة للألومنيوم ، ومكوناته

الجهود ، بالفولت • ١،٠ عيارى مقياس كالوميل	المحلول الجامد أو المكون
١,٠٧ -	α (لو - مغ) (مغ ٨ لو)
١,٠٤ -	β (خ - مغ) (مغ - خ ٢)
١,٠٢ -	لو ٤٪ خ محلول جامد
٠,٩٦ -	لو ١٪ خ محلول جامد
٠,٨٧ -	لو ٤٪ مغ محلول جامد
٠,٨٥ -	α (لو - من) (من لو ٦)
٠,٨٤ -	ألومنيوم
٠,٨٣ -	لو + مغ + س (١٪ مغ ٢ س) محلول جامد
٠,٨١ -	لو ١٪ س محلول جامد
٠,٦٩ -	لو ٤٪ نخ محلول جامد
٠,٥٦ -	α (لو - ح) (ح لو ٣)
٠,٥٥ -	حديد
٠,٥٣ -	لو - نخ (نخ لو ٣)
٠,٢٦ -	سيليكون
٠,٢٠ -	نحاس

• قيس هذه الجهود القطبية في محلول ماء يتألف من ٥٣ جرام من كلوريد الصوديوم + ٣ جرام من يد ٢ أ (فوق أكسيد الهيدروجين) لكل لتر .

عوامل أخرى تؤثر على تآكل المعدن :

فيما سبق ، تم شرح كيفية نشوء مناطق موضعية ذوات جهود قطبية أكثر أنودية عن مواضع أخرى في بنية السبيكة ، نتيجة لترسب مكونات وأصناف جديدة على الحدود الفاصلة بين الحبيبات البلورية للسبيكة ، ومن ثم تؤدي إلى تدهور وانحيار بنية المعدن . ولكن أثبتت الخبرة العملية والمعملية ، أن ترسب أصناف جديدة لا يكون دائماً السبب الوحيد لتدهور بنية المعدن ، ولكن ثمة مكونات أخرى غير معروفة حتى الآن ، يجري ترسيبها ، وتؤثر هي الأخرى بشكل أو بآخر ، وتؤدي في النهاية إلى تدهور بنية المعدن . كما أنه من الممكن افتراض نشوء مناطق على الحدود الفاصلة بين الحبيبات تعاني من إجهادات مفرطة ، نتيجة عدم انتظام البلورات بها ، مما يؤدي في النهاية إلى خلق فروق في الجهود القطبية بينها وبين كتلة الحبيبات ككل . من ناحية أخرى ، يجب أن يؤخذ في الاعتبار التغير الحجمي الذي يطرأ على المكونات المتراكمة على الحدود الفاصلة بين الحبيبات عند ترسب أصناف جديدة ، الأمر الذي يؤدي بدوره إلى خلق إجهادات إضافية تساعد على إحداث التآكل .

تآكل سبائك الألومنيوم :

أكثر سبائك الألومنيوم عرضة للتآكل نتيجة للإجهادات المختلفة ، تلك السبائك التي تحتوي على عناصر تنقسم بذائبية كبيرة في الحالة الصلبة عند درجات الحرارة العالية ، ولكن يقل تذاوبها في الألومنيوم عند درجات الحرارة المعتادة ، مما ينجم عنه ترسب الفائض منها بشكل أو بآخر ، فيضطرب الاتساق البلوري للسبيكة ، وتتولد إجهادات تعمل على تآكل بنية السبيكة ، من هذه العناصر ، النحاس ، والمغنسيوم ، والزنك .

وفي مثل هذه السبائك ، يتأثر التركيب البنائي لها إلى حد بعيد ، بعمليات المعاملة الحرارية ، ومعدل التبريد أثناء التسقية ، والتعتيق سواء كان طبيعياً أو اصطناعياً . وفي بعض سبائك الألومنيوم ، خاصة سبائك الألومنيوم والنحاس ، يتوقف تأثير التعتيق الاصطناعي على إجراء التسقية السابقة . وليس للتعتيق الطبيعي أي تأثير يذكر على قابلية سبائك الألومنيوم والنحاس للتآكل نتيجة للإجهادات المتولدة ، لكن تأثيره على قابلية سبائك الألومنيوم والمغنسيوم المطروقة (القابلة للتشكيل) ليس هيناً ، لا سيما إذا احتوت هذه السبائك على أكثر من ٤,٥٪ من وزنها من المغنسيوم . ويلزم لهذه المجموعة ، فترة طويلة قد تبلغ شهوراً ، بل قد تصل إلى بضع سنين ، قبل أن ترسب بعض المكونات بالقدر الذي يؤدي إلى خلق إجهادات محسوسة وفعالة ، تزيد من تعرض المعدن للتآكل والانحيار . ولذلك فإن كثيراً من المعلومات المتوافرة عن سبائك الألومنيوم والمغنسيوم ، تكون مشوشة ، ولا يمكن التعميل عليها بصورة قاطعة

من ناحية أخرى ، قد يؤدي سلوك السبيكة خلال تعرضها لتشوه لدن ، إلى التعجيل بترسب موضعي لبعض المكونات ، كما قد يؤدي أيضاً إلى توزيع الإجهادات المختلفة ، ومن ثم انتظامها .

ومن المستصوب تناول مختلف أنواع السبائك الألومنيومية بالمناقشة والتمحيص ، فيما يختص بتعرضها وتقبلها لظاهرة التآكل نتيجة الإجهادات المختلفة ، مع تقصي الأسباب التي تؤدي إلى ذلك .

الألومنيوم : لا يتعرض الألومنيوم النقي ، أو النقي تجارياً ، للتآكل نتيجة إجهادات داخلية . ولكن بالرغم من ذلك ، فإن الألومنيوم عالي النقاوة الذي يحتوى على ٩٩,٥٪ من الألومنيوم على الأقل ، يبدى ميلا للتآكل داخل حبيباته البلورية في وسط من حمض الهيدروكلوريك تحت ظروف من المعاملة الحرارية ، حيث يؤدي كل ذلك إلى أنودية (التحول إلى جهد أعلى) الحدود الفاصلة بين الحبيبات البلورية للألومنيوم في وجود هذا الحمض . وللأسف ليست هناك تحليلات وافية ، أو تفسيرات شافية لهذه الظاهرة .

سبائك الألومنيوم - المنجنيز : للمنجنيز ذائبية منخفضة في الألومنيوم الفلزى ، في الحالة الصلبة . ولكونات الألومنيوم والمنجنيز نفس الجهد القطبي للألومنيوم العنصرى تقريباً ، وعليه فلا يخشى على هذه المجموعة من السبائك من تعرضها للتآكل نتيجة للإجهادات الداخلية .

سبائك الألومنيوم - السيليكون : للسيليكون ذائبية منخفضة نسبياً في الألومنيوم الفلزى في الحالة الصلبة . كما أن معدل ترسب الأصناف الجديدة في هذه المجموعة من السبائك ، يكون بطيئاً للغاية ، ويمكن إهماله . ويعتبر المكون السليكوني بالنسبة للألومنيوم بمثابة مهبط ، ولكن للألومنيوم والمحلول الجامد للألومنيوم والسيليكون جهدين قطبيين متساويين تقريباً . وتستخدم سبائك الألومنيوم والسيليكون بكثرة في أغراض صناعة المسبوكات عنها في أغراض التشكيل ، ولكن لم تلاحظ أى نزعة لهذه السبائك للتآكل نتيجة إجهادات داخلية بها .

سبائك الألومنيوم - المغنسيوم : تبلغ ذائبية المغنسيوم في الألومنيوم الفلزى عند درجة حرارة اليوتكتي حوالى ١٥٪ ، ولكن لا تزيد الذائبية عند درجة الحرارة المعتادة على ٢٪ . ويعتبر مكون الألومنيوم المغنسيوم أكثر أنودية مقارنة بكل من الألومنيوم الفلزى والمحلول الجامد للألومنيوم والمغنسيوم . والسبائك الثنائية التي تحتوى على أكثر من ٤,٥٪ من المغنسيوم نزعة واضحة للتآكل ، نتيجة تخلف إجهادات داخلية بها ، خاصة بعد تشغيل هذه السبائك على البارد . ويمكن الحصول على نتائج طيبة بإضافة مشبطات للتآكل كالمنجنيز والكروم لتزيل الإجهادات الداخلية التي تعاني منها البنية البلورية للسيكة .

سبائك الألومنيوم - المغنسيوم - السيليكون : عند وجود عنصرى المغنسيوم والسيليكون في سبائك الألومنيوم المفيدة للأغراض التجارية بنسبة وجودهما في المركب مغ ٢ س (سليسيد المغنسيوم) لا يتأثر الجهد القطبي للسيكة عند تعرضها للعديد من عمليات المعاملة الحرارية . ولذلك فإن للعديد من سبائك الألومنيوم التشكيلية ، التي تحتوى على عنصرى المغنسيوم والسيليكون بنسبة وجودهما في المركب مغ ٢ س أهمية خاصة لمقاومتها الجيدة للتآكل .

سبائك الألومنيوم - السيليكون - المغنسيوم : هناك مجموعة هامة من سبائك الألومنيوم الخاصة بالمسبوكات تحتوي على ٥ - ٧٪ من السيليكون ، وحوالي ٥,٥٪ من المغنسيوم ، وتتميز هذه المجموعة من السبائك بمقاومة عالية للتآكل ، كما لم يلاحظ أى ميل لها لإحداث إجهادات داخلية بها . وبإضافة حوالي ١,٥٪ من النحاس إلى هذه السبائك ، تزداد مقاومة الشد لها ، ولكن ذلك يكون على حساب مقاومتها للتآكل ، فتتخفض قليلا .

سبائك الألومنيوم - النحاس - تناولنا فيما سبق ، دراسة سبائك الألومنيوم والنحاس ، وهذا القسم من السبائك لا تتأثر مقاومته للتآكل إذا جرت تسقيته سريعاً ، أو إذا تعرض لإزمان طبيعي . لكن مقاومة هذه المجموعة من السبائك للتآكل ، تقل كثيراً إذا ما أعيد تسخينها ، أو عتقت اصطناعياً ، بهدف الحصول على أقصى متانة ممكنة .

سبائك الألومنيوم - النحاس - المغنسيوم : عموماً ، يمكن القول بأن مسلك هذه المجموعة من السبائك يشبه إلى حد بعيد ، مسلك سبائك الألومنيوم - النحاس ، فيما خلا تأثير عنصر المغنسيوم على الخواص المميزة لها عند التعتيق إزمانياً . ومن ثم فإن مقاومتها للتآكل لا تتأثر بتبريدها سريعاً ، ولكن تقل هذه المقاومة عند إعادة تسخينها .

سبائك الألومنيوم - النحاس - المغنسيوم - السيليكون : في هذه المجموعة من السبائك ، يعمل عنصر السيليكون الموجود بكمية تفيض عن وجوده لتكوين المركب (مغ ٢ س) ، على سرعة استجابتها للتعتيق الاصطناعي . وبتسقية هذه السبائك سريعاً ، لا تتأثر مقاومتها للتآكل . ولكن عند تسقيتها ببطء ، ثم تعريضها للتعتيق الطبيعي ، أو تسقيتها سريعاً ، ثم تعريضها للتعتيق الاصطناعي ، فإن مقاومتها للتآكل تقل كثيراً .

سبائك الألومنيوم - الزنك : لهذه المجموعة من السبائك قابلية ملحوظة للتآكل ، وقد عرفت نقطة الضعف هذه في وقت مبكر ، ويمزى ذلك إلى الذائبية الكبيرة لعنصر الزنك في الألومنيوم لتكون مكونات منها ، هذه المكونات تكون بمثابة أنود بالنسبة لفلز الألومنيوم النقي ، وعليه يحدث التآكل . ولهذا السبب فليست لسبائك الألومنيوم الفنية بالزنك أهمية تجارية تذكر .

سبائك الألومنيوم - الزنك - المغنسيوم : تقسم هذه السبائك مع غيرها من الإضافات الأخرى بمتانة كبيرة ، تجعلها صالحة للاضطلاع بالعديد من المهام في الحياة العملية . ومع ذلك فقد جرى تطوير هذه السبائك في أضيق الحدود لزيادة مقاومتها للتآكل والتصدع . وفي السنوات الأخيرة المنصرمة ، جرى تطوير هذه السبائك ميتالورجياً بالتحكم والاختيار الصحيحين لمكونات الزنك والمغنسيوم ، إلى جانب بعض الإضافات من النحاس وغيره من العوامل المثبطة للتآكل كالكروم ، مما أدى إلى تحسين مقاومتها للتآكل لدرجة كبيرة .

الباب الثامن

ميتالورجيا مساحيق الألومنيوم

ميتالورجيا المساحيق ، هو فن إنتاج مساحيق الفلزات ، ثم الاستفادة بها في صناعة أشياء نافعة من أجهزة وأدوات معدنية يمكن استخدامها .

وبتطبيق هذه الطريقة المستحدثة ، يمكن الحصول على منتجات جاهزة ومشكلة من مسحوق أحد الفلزات النقية ، أو من مخلوط لمساحيق عدد من الفلزات ، بواسطة الكبس ثم التلييد ، دون المرور بمرحلة الصهر ، ثم تشكيل الفلز المنصهر .

ولميتالورجيا المساحيق ميزة خاصة ، إذ يمكن بواسطتها إنتاج مواد تتألف من عدد من الفلزات أو سبائكها ، التي لا تتسبك إطلاقاً مع بعضها بعضاً ، وهي في حالة الانصهار ، فثلاً يمكن الحصول على قاطعات التلامس في الأغراض الكهربائية من التنجستن الصلب الذي يقاوم التآكل ، ومن الفضة اللينة ذات الموصلية الكهربائية العالية . وتشبه هذه العملية في جوهرها تكنولوجيا صناعة السيراميك ، لذلك يطلق أحياناً على منتجات ميتالورجيا المساحيق اسم « السيراميك الفلزي » .

ومن الممكن ، بكبس وتلييد مخاليط المساحيق المعدنية مع مساحيق المواد غير المعدنية كالأسبستوس ، والميسكا ، وأكاسيد المعادن ، الحصول على مواد احتكاكية من السيراميك الفلزي ذات عوامل احتكاك كبيرة ، وتستخدم في صناعة القابضات القرصية ، وأحذية الفرامل . وبواسطة ميتالورجيا المساحيق ، أمكن حل مشاكل الإنتاج الصناعي للقطع المعدة من المعادن المقاومة للانصهار ، التي تزيد درجة حرارتها على 2000°C ، وفي الوقت الراهن تصنع معدات القص العالية الإنتاجية على أساس كربيدات مقاومة للانصهار ، لها صلادة عالية ، وباستخدام مركبات كيميائية تقاوم الانصهار ، وتصمد أمام درجات الحرارة العالية ، تمت صناعة المواد للانصهار والحرارة التي تستخدم بكثرة في تجهيز التوربينات وفي الطاقة الذرية .

وباستخدام الأكاسيد الدقيقة الطحن كأحد مركبات شحنة المساحيق ، أمكن الحصول على مواد جديدة متينة ومقاومة للحرارة أساسها الألومنيوم والحديد والنيكل وغيرها من الفلزات الأخرى . ولقد كان لاستخدام ميتالورجيا المساحيق في صناعة مختلف المنتجات حسناً كثيرة ، منها الاقتصاد في المعدن المستخدم ، وخفض تكاليف المنتجات الجاهزة إلى حد بعيد . وللحصول على منتجات من الألومنيوم النقي أو من سبائكها ، بتطبيق ميتالورجيا المساحيق ، يلزم الآتي :

- الحصول على مسحوق الألومنيوم أو مسحوق سبائكته .
 - كبس المساحيق للحصول على منتجات نصف جاهزة تبعاً للشكل والأبعاد المطلوبة .
 - تليد القطع المكبوسة للحصول على مثانة أكبر ، وخواص فيزيقية وكيميائية معينة .
- ومن ثم يمكن الحصول على منتجات مشكلة من مسحوق الألومنيوم أو سبائكته ، لاستخدامها في أغراض عديدة ، حربية ومدنية .

طرق الحصول على مسحوق الألومنيوم وسبائكته :

عموماً ، توجد طرق متعددة للحصول على مسحوق للألومنيوم أو لسبائكته ، وتنقسم هذه الطرق إلى طرق ميكانيكية وطرق كيميائية . ولكن أكثر الطرق شيوعاً في حالة الألومنيوم ، هي الطرق الميكانيكية ، إذ أن تطبيق الطرق الكيميائية يستلزم استعدادات وتجهيزات معينة ، بالإضافة إلى تكاليفها الباهظة ، ويرجع ذلك إلى فعالية الألومنيوم ونشاطه كيميائياً ، خاصة نزعة القوية للتأكسد والاتحاد بقوة بكثير من العناصر الأخرى خاصة غاز الأكسجين .

ومن أكثر الطرق الميكانيكية استخداماً للحصول على مسحوق الألومنيوم ، ما يلي :

١ - سحق قطع الألومنيوم في طواحين مناسبة ، كالمطحونة الدوامة .

٢ - تحبيب الألومنيوم المنصهر .

٣ - طريقة التذرية .

٤ - طريقة الأقراص .

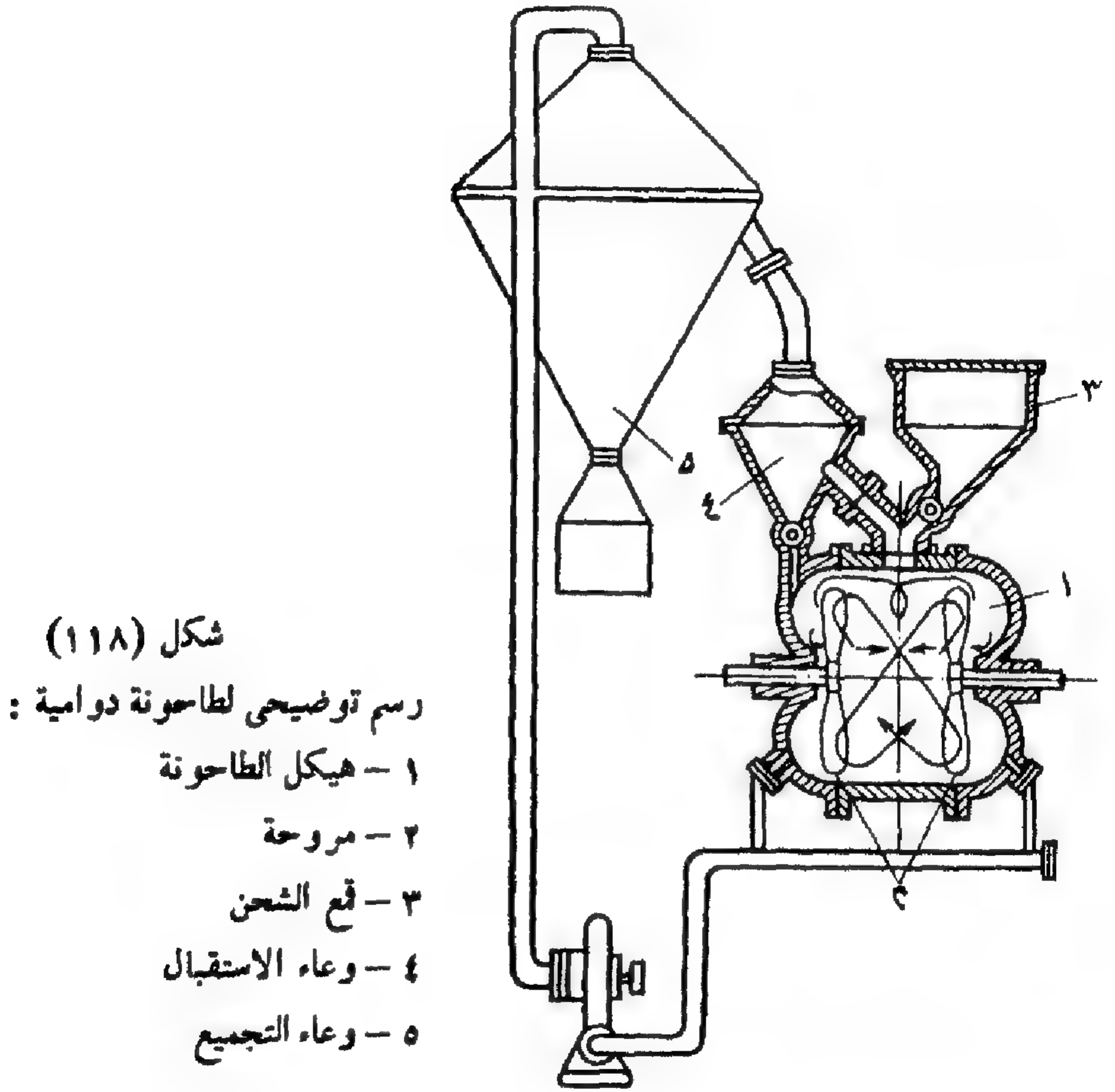
١ - سحق الألومنيوم في طاحونة دوامة :

تتركب الطاحونة الدوامة (كما في الشكل رقم ١١٨) من هيكل معدني يبطن بصلب يقاوم التآكل ، وتدور داخلها مروحتان في اتجاهين متضادين بسرعة تصل إلى ٣٠٠٠ دورة في الدقيقة ، فتتكون داخل الطاحونة تيارات هوائية على هيئة دوامات عنيفة ، ويشحن الألومنيوم في شكل أسكلاك مقصوصة أو قطع صغيرة ، في قمع الشحن ، حيث تنجذب قطع الألومنيوم بواسطة الدوامات الهوائية ، ويصطدم بعضها ببعض ، ونتيجة للتصادم المتواصل ، ينسحق الألومنيوم (أو سبائكته) إلى رقائق صغيرة تتراوح أبعادها بين ٥٠ ، ٢٠٠ ميكرون . ومن ناحية أخرى ، تعمل تيارات الهواء المندفعة على حمل حبيبات المعدن إلى وعاء الاستقبال ، حيث تترسب الحبيبات الكبيرة في القاع وتعاد ثانية لسحقها مرة أخرى إلى الأبعاد المطلوبة ، أما الحبيبات الدقيقة ، فتتجه إلى خزان خاص لتجميعها .

ولحل مشاكل ارتفاع درجة الحرارة داخل الطاحونة ، وما يصاحب ذلك من مشاكل خاصة ، تعرض حبيبات الألومنيوم للتأكسد نتيجة لعمليات السحق السريعة ، يمرر تيار من الماء

بفرض التبريد حول جسم الطاحونة . وقد يستدعى الأمر في بعض الأحيان ، إمرار تيار من غاز خامل في خزان التجميع .

وتستخدم الطاحونة الدوامية بكفاءة عالية لسحق سبائك الألومنيوم القصيفة . ومن أهم مميزات استخدام الطاحونة الدوامية في الصناعة للحصول على مسحوق الألومنيوم وسبائكه ، ما يتمتع به المسحوق الناتج من نقاوة عالية ، إذ أن الأجسام الطاحنة هي نفس القطع التي يراد سحقها ، كما تتميز المساحيق المنتجة في هذه الطاحونة ، بقابليتها الجيدة للكبس والتلييد .



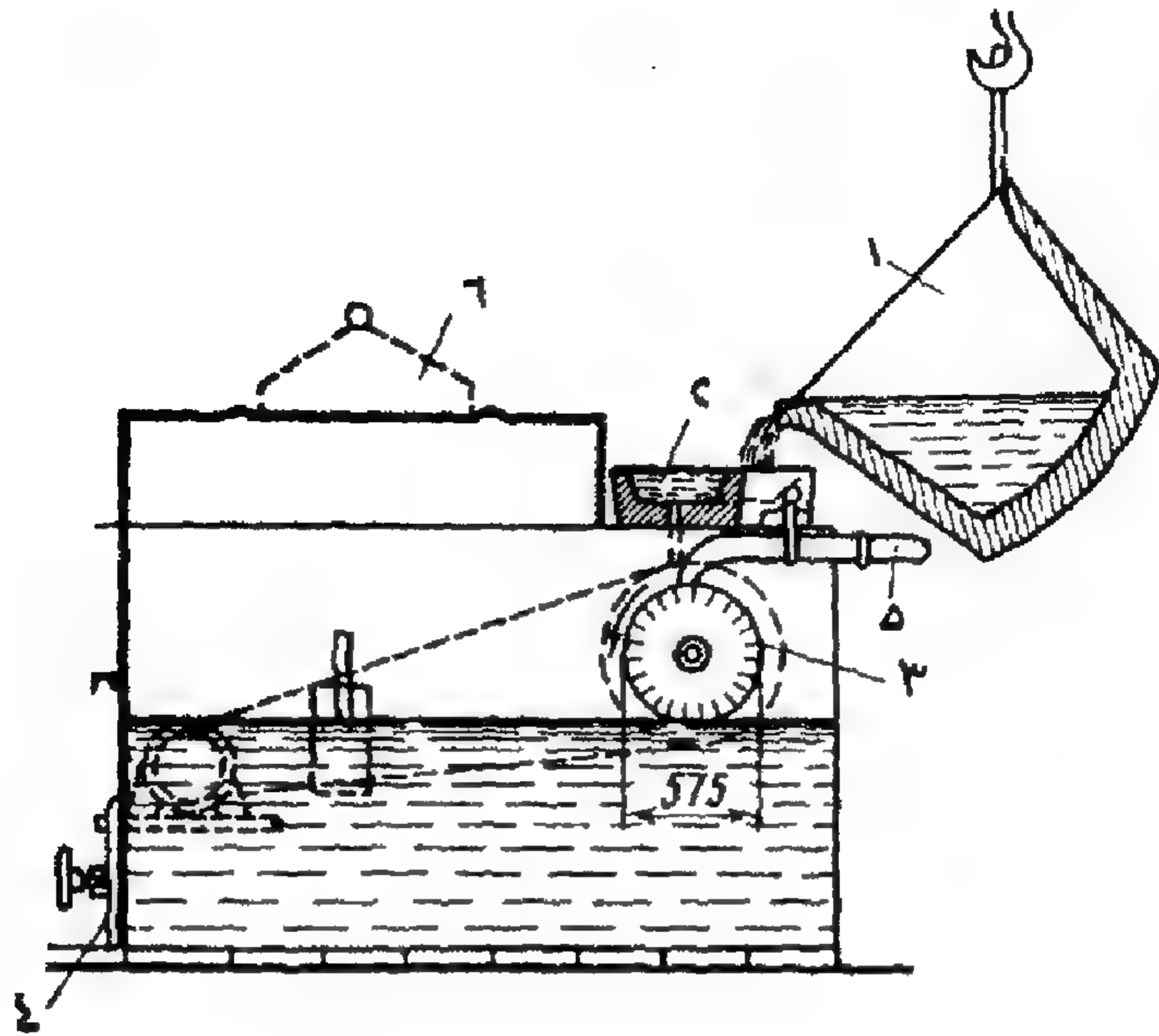
شكل (١١٨)
رسم توضيحي لطاحونة دوامية :
١ - هيكل الطاحونة
٢ - مروحة
٣ - قمع الشحن
٤ - وعاء الاستقبال
٥ - وعاء التجميع

٢ - تحبيب الألومنيوم المنصهر :

تتلخص عملية الحصول على مسحوق الألومنيوم بواسطة تحبيب الفلز المنصهر ، في صب المنصهر عند درجة حرارة أعلى قليلاً من نقطة انصهاره ، على هيئة تيار رفيع إلى الماء .

ويبين الشكل رقم (١١٩) رسماً توضيحياً للطريقة ، حيث يصب مصهور الألومنيوم من البودقة إلى مجرى خاص ، ليندفع على سير متصل يتحرك بسرعة بالاستعانة بموتور كهربائي ،

وتسبب حركة السير السريعة في تقطيع تيار الألومنيوم المنصهر الرفيع ، ويسقط على هيئة قطرات دقيقة الحجم في حوض به ماء ، فتتجمد القطرات سريعاً مكونة مسحوقاً . بعد ذلك يحفف هذا المسحوق ثم ينخل .



شكل (١١٩) رسم توضيحي لوحدة تحبيب الألومنيوم المنصهر

- | | |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| ١ - بودقة بها مصهور الألومنيوم | ٢ - قناة استقبال الألومنيوم المنصهر |
| ٣ - سير متصل | ٤ - فتحة التفريغ |
| ٥ - فتحة التزويد بالماء | ٦ - غطاء |

٣ - طريقة التذرية :

لإنتاج مسحوق الألومنيوم بطريقة التذرية ، يصهر الألومنيوم ، وترفع درجة حرارته لدرجة أعلى من نقطة انصهاره ، ثم يصب المصهور في وعاء من الصلب مبطن بمادة عازلة للحرارة ، به فتحة جانبية قرب القاع ، تتركب عليها فوهة التذرية . ويفتح صمام للهواء المضغوط حول الفوهة ، مع إمرار الألومنيوم المنصهر خلال الفتحة الجانبية ، فيندفع الألومنيوم رذاذاً ، ويتجمد إلى مسحوق دقيق .

٤ - طريقة الأقراص :

في هذه الطريقة ، يصهر الألومنيوم ثم يصب فوق قرص يدور بسرعة عالية ، ويوجد أسفله حوض به ماء بارد ، وبملامسة قطرات الألومنيوم لسطح القرص الدوار ، يتناثر المصهور بفعل القوة الطاردة المركزية على شكل شرائح وشظايا رقيقة ، تجمع وتشحن في طواحين مناسبة لسحقها .

تكنولوجيا كبس المساحيق :

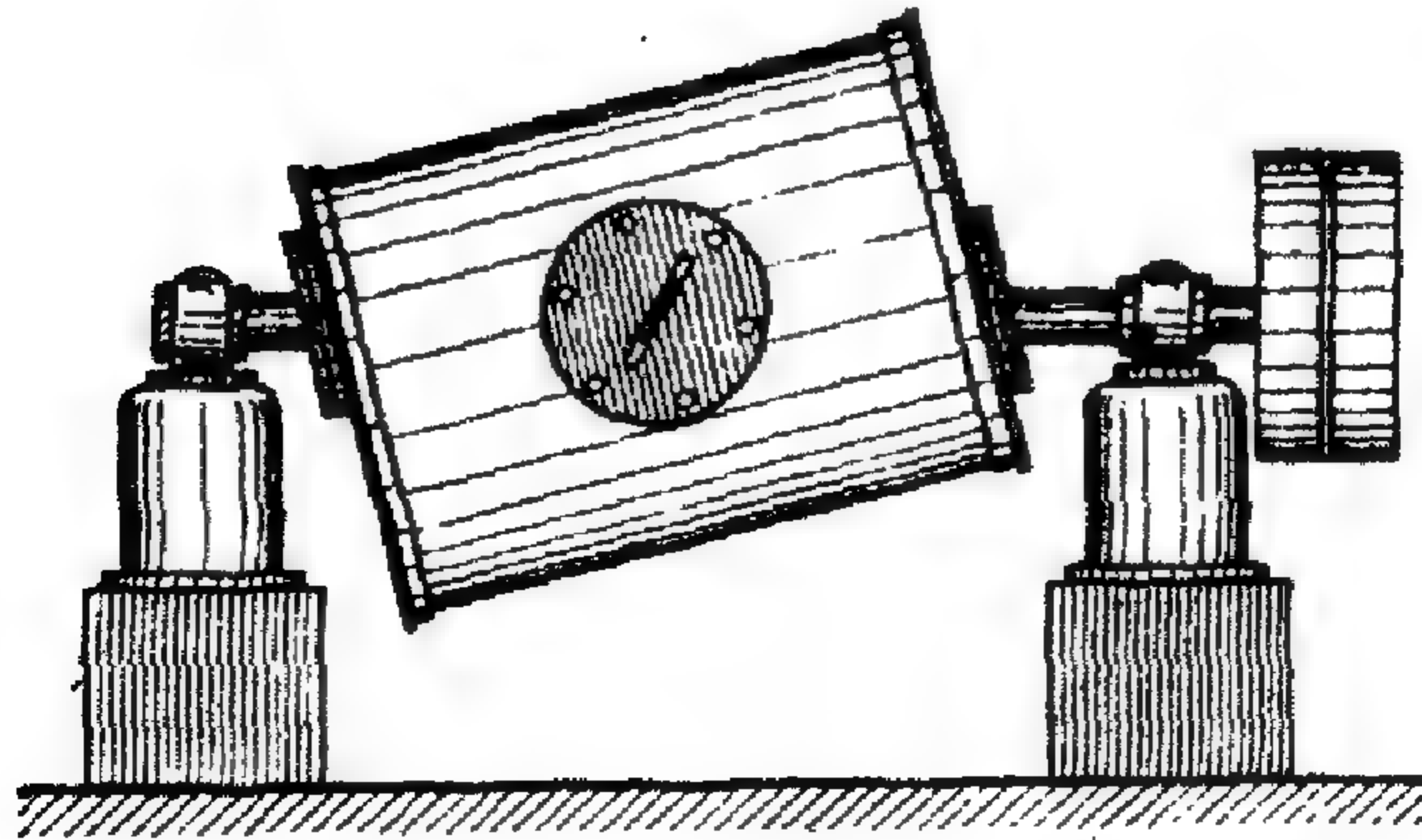
يتم إنتاج المواد وقطع المساحيق المعدنية على مراحل عدة مثل الكبس والتليد والمعالجات الإضافية وغير ذلك . وأهم هذه العمليات هي عمليات الكبس والتليد .

ويقصد بعملية كبس المساحيق ، العملية التي نحصل بواسطتها من المسحوق المعدني على جسم متين نسبياً (قطع نصف مشكلة وقوالب وغيرها) له أبعاد مطابقة لأشكال وأبعاد المنتجات الجاهزة . وحتى تتم عملية الكبس على الوجه الأمثل ، يجب أن تعد الشحنة من المساحيق إعداداً خاصاً ، ثم تقدر بعد ذلك الكمية المطلوبة منها ، وتشحن في قالب الكبس ، وتجرى بعد ذلك عملية الكبس . وتعتبر عملية إعداد الشحنة ، وغلط المساحيق ، من أهم العمليات في إنتاج المنتجات ذات التركيب المعقد ، وغالباً ما يؤثر إعداد الشحنة على الخواص النهائية للمنتجات الجاهزة .

وتعرض المساحيق لعملية تخمير لتلدينها ، حتى يمكن التخلص من التصلد الناتج عن التشغيل على البارد ، ولتقليل التأكسد ، وكذلك لتحسين تجانس الخواص الفيزيائية والكيميائية للمساحيق السبكية . ويؤدي التلدين عادة عند درجات حرارة عالية إلى تكبير حجم الجسيمات والحبيبات نتيجة لتليدها جزئياً . لذلك فإنه من المستصوب إجراء عمليات تلدين وتفتيت متكررة عند درجات حرارة منخفضة للتخلص من التصلد الناتج عن التفتيت .

ولخلط المساحيق ، تستخدم طواحين الكور ، أو الخلاطات المخروطية ، أو الخلاطات المتأرجحة .

وأكثر معدات الخلط المستخدمة في الصناعة ، هي الخلاطات المتأرجحة والخلاطات المخروطية . ويوضح الشكل رقم (١٢٠) رسماً تخطيطياً لخلاط متأرجح ، وهو يتكون من هيكل أسطواني له محور دوران غير متمركز كما في الشكل ، وعند دوران الخلاط بعد شحنه حول محوره غير المتمركز ، ينشأ احتكاك شديد بين جسيمات المساحيق لتقاذفها وتدافعها بفعل القوة الطاردة المركزية ، ونتيجة لسقوطها على بعضها لدورانها حول محور لا متمركز ، وبذلك تتم عملية الخلط.



شكل (١٢٠) خلاط متأرجح

وتم تعبئة براميل الخلاطات على مختلف أنواعها بشحنات من المساحيق ، لا تزيد على ٣٠ - ٤٠ ٪ من سعة البرميل . ويدور الجسم الأسطوانى بسرعة تتراوح بين ٤٠ ، ٦٠ دورة فى الدقيقة . ويتوقف زمن الخلط على طبيعة مركبات المخلوط وعلى نوع عملية الخلط .

ومن الممكن أن يكون الخلط جافاً أو مبتلاً ، ولكن ثبت عملياً بالتجربة أنه عند إعداد شحنة من مساحيق متفاوتة فى وزنها النوعى - بشكل ملحوظ - ، فإن المساحيق الجافة لا يتجانس خلطها حتى لو استغرقت عملية الخلط مدة طويلة ، لذلك تكون المنتجات المصنوعة من هذه الشحنات غير متجانسة فى التركيب الكيميائى ، مما يقلل من خواصها الميكانيكية والكيميائية الفيزيائية .

ويستخدم الكحول الأبيض أو البنزين أو المياه المقطرة ، أو الجليسرين أو ما شابه ذلك ، كوسط سائل يوضع مع المساحيق فى الخلاطات . ويحقق الخلط المبتل ، الحصول على مخاليط أدق وأكثر تجانساً فى توزيعها .

وفى بعض الحالات ، يجرى تحبيب المساحيق ، بتجميع جسيماتها المتناهية الصغر فى تجميعات بأساليب مناسبة ، حتى تزداد سيورتها عند شحن قوالب الكبس ، وتحسن قابلية القطع للتشكيل عند كبسها .

ولتحقيق هذا الغرض ، تضاف مواد لاصقة عند تحبيب المساحيق المعدة للكبس ، وتعمل هذه المواد كزلاقات لجسيمات الشعنة ، فتسهل انزلاقها بالنسبة لبعضها بعضاً عند الكبس . فضلاً عن ذلك فإن لهذه المواد اللاصقة دوراً آخر لا يقل أهمية ، فهى تعمل على زيادة التصاق الحبيبات بعضها إلى بعض خاصة عند الكبس ، مما يزيد كثيراً من متانة المكبوسات ، ويحقق حفظ شكل وجودة القطع اللازمة للعمليات التالية ، وبالطبع يجب أن تخضع هذه المواد اللاصقة لمواصفات خاصة ، حتى يمكن الوفاء بمهامها ، فيجب أن تتمتع بسيولة كافية ، وتكون لها خاصية الانتشار السريع على أسطح جسيمات المسحوق عند الخلط . وفى نفس الوقت ، تعمل على حفظ شكل القطع نصف المشكلة عند العمليات التالية ، كما يجب ألا تتفاعل المادة المضافة مع مركبات الشعنة وألا تكون قابلة للانفجار .

طرق كبس مساحيق الألومنيوم وسبائكها :

يتم كبس المساحيق بطرق متعددة أهمها :

١ - الكبس فى اتجاه واحد .

٢ - الكبس من الطرفين .

٣ - كبس الأشكال المعقدة

٤ - الكبس الهيدروستاتيكي .

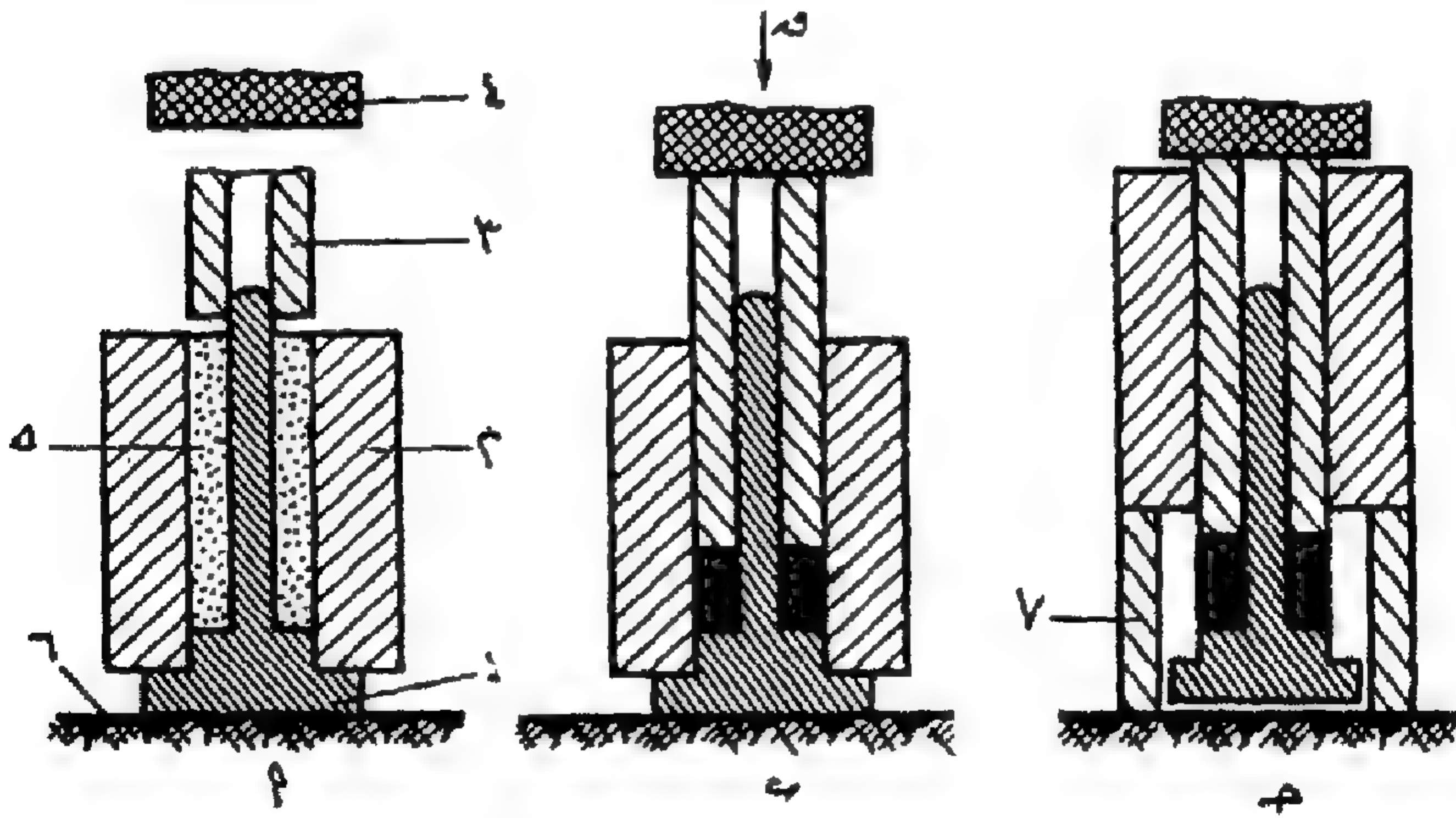
٥ - درفلة أو طرق المساحيق في أغلفة على الساخن

٦ - درفلة المساحيق إلى شرائط .

٧ - كبس المساحيق بالبتق إلى أسلاك أو مواسير .

١ - الكبس في اتجاه واحد :

يستخدم الكبس في اتجاه واحد ، لإعداد المنتجات بسيطة الشكل ، عندما لا يزيد طول (أو ارتفاع) المنتج على ضعف قطره (أو سمكه أو عرضه) ، مثل كبس الجلب السميكة ، وقطع التلامس الكهربائي . ويبين الشكل (١٢١) رسماً توضيحياً لطريقة الكبس في اتجاه واحد . وفي هذه الطريقة يتم شحن المسحوق (أو خليط المساحيق) في قالب الكبس ، الشكل (أ) ، ثم تبدأ عملية الكبس بالضغط على الكباس ، وتحويله إلى منتج جاهز ، أو إلى قطعة نصف مشكلة كما في الشكل (ب) ، ثم يزاح الثقل بعد ذلك ، ويوضع قالب الكبس على حلقة خاصة ، ثم يضغط ثانية على الكباس الذي يخرج القطعة المكبوسة من قالب الكبس ، كما في الشكل (ج) . ويعيب طريقة الكبس في اتجاه واحد ، عدم تجانس كثافة المكبوسات طولياً ، لذلك لا تصلح هذه الطريقة لكبس القطع الطويلة .



شكل (١٢١) رسم توضيحي يبين كبس مسحوق الألومنيوم في اتجاه واحد

(ب) كبس المسحوق إلى قطع

(١) شحن المسحوق ووضع الكباس

(٢) تخليص القطع المنتجة من المكبس

٤ - دافعة المكبس

٣ - كباس

٢ - غلاف المكبس

١ - قاعدة

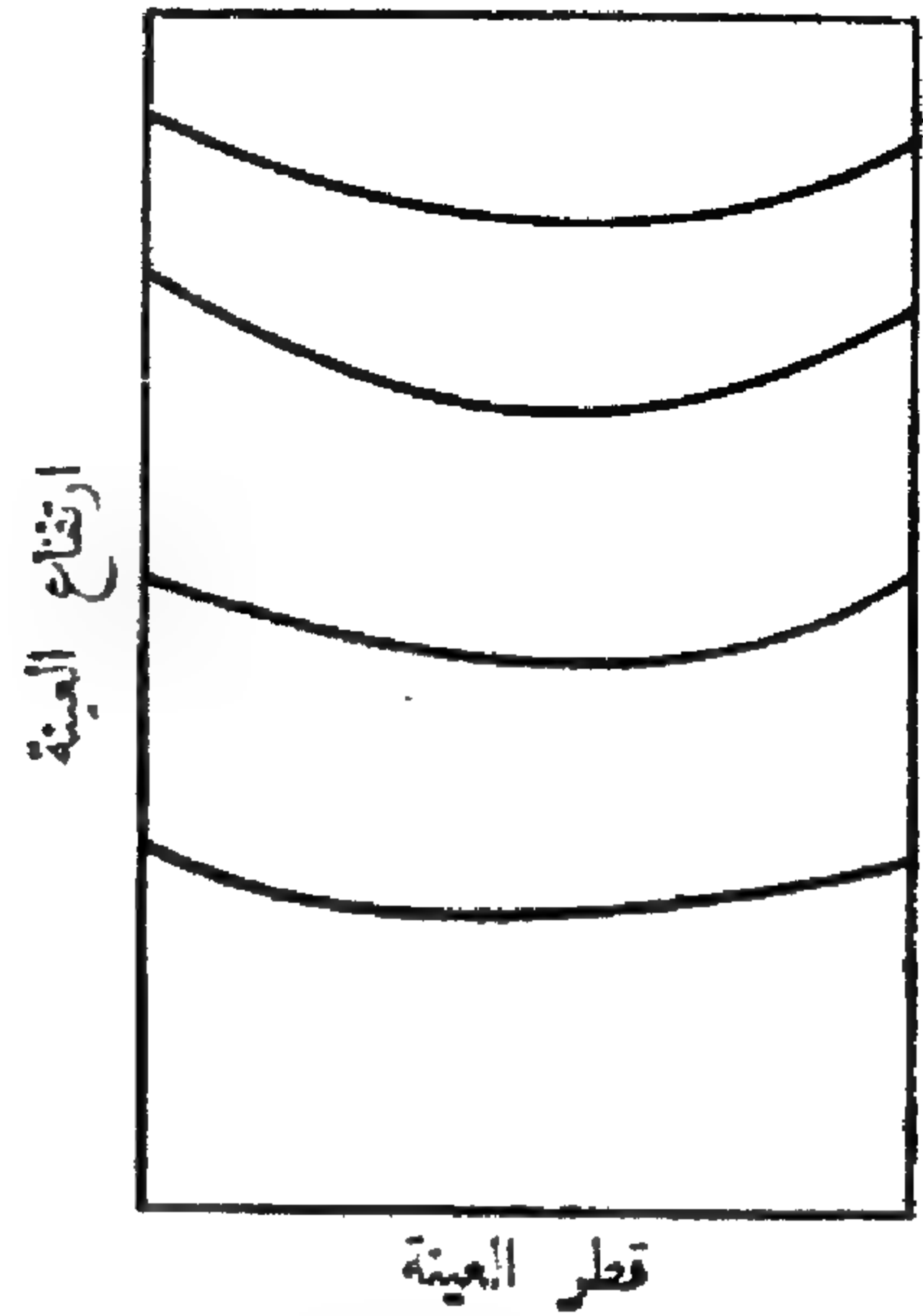
٧ - حلق

٦ - قاعدة المكبس

٥ - مسحوق الألومنيوم

ويبين الشكل رقم (١٢٢) مقطعاً في أسطوانة صنعت من المساحيق المكبوسة ، وجرى تقسيمها عند شحنها في المكبس إلى جرعات متساوية بواسطة رقائق نحاسية . ويتضح من الشكل

أن الطبقات لم تزد كثافة فحسب ، بل إنها قد تقمرت أيضاً ، كما أن كثافة الطبقات على طول العينة تكون غير متماثلة ، فتقل من أعلا إلى أسفل ، كما تزداد من مركز التقعر إلى المحيط . ويحدث العكس بالنسبة للطبقات الدنيا ، حيث تزداد الكثافة من المحيط إلى المركز . ويعزى ذلك إلى احتكاك جسيمات المساحيق مع أسطح القالب في أثناء عملية الكبس ..



شكل (١٢٢)

رسم توضيحي يبين توزيع الكثافة في مقطع القطعة المكبوسة (الكبس في اتجاه واحد)

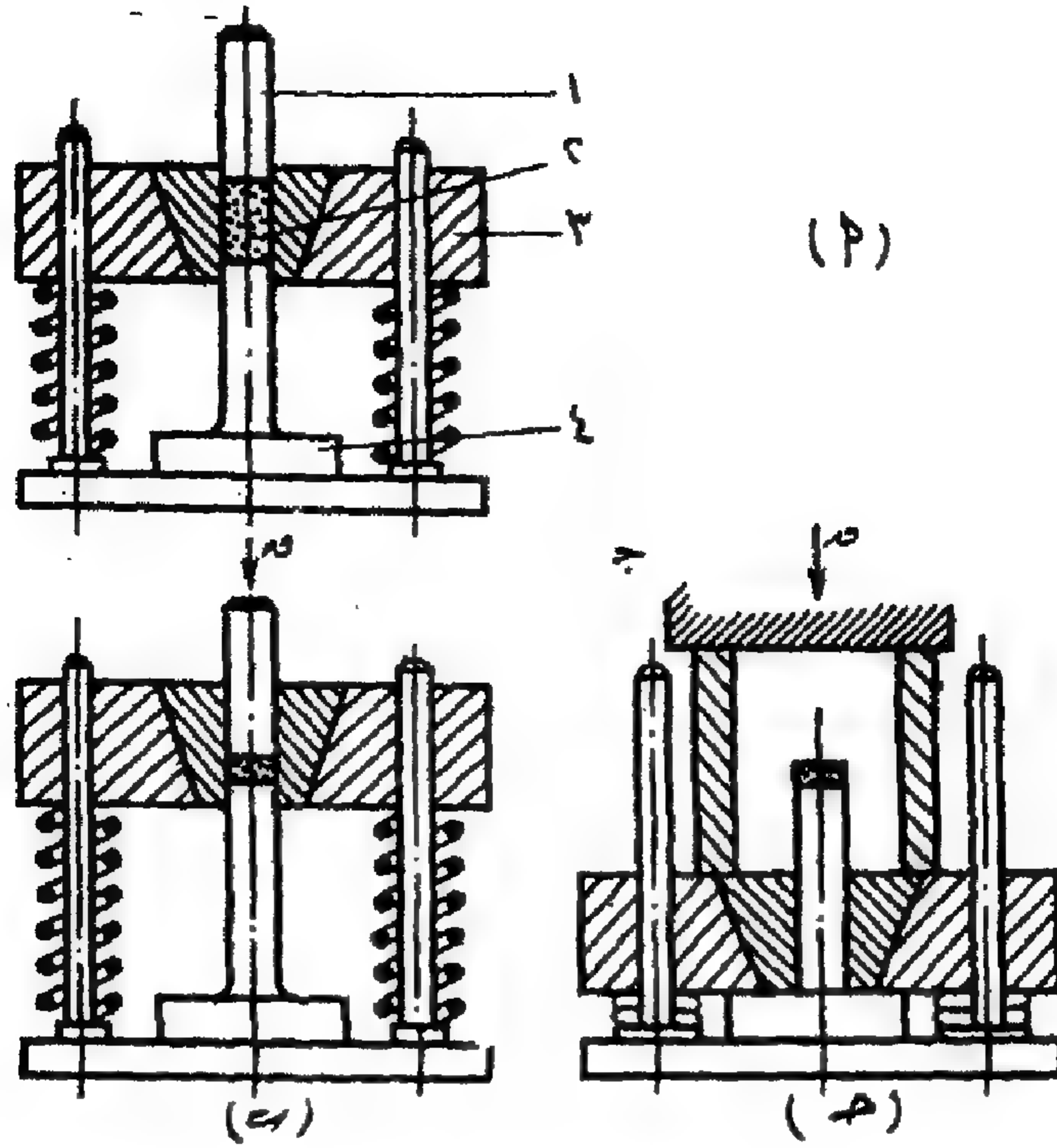
٢ - الكبس من الطرفين :

تستخدم طريقة الكبس من الطرفين للحصول على منتجات يكون طولها ضعف عرضها تقريباً ، أو عندما يكون للقطعة شكل يتعذر معه الحصول على كثافة متجانسة بطول القطعة عند استخدام طريقة الكبس في اتجاه واحد .

ويبين الشكل (١٢٣) رسماً تخطيطياً لطريقة الكبس من الطرفين (الكبس في اتجاهين) ، وفي هذه الطريقة ، تشحن المساحيق في قالب الكبس ، حيث تكون قاعدته هي الكباس الأسفل ، ثم يثبت الكباس العلوي (الشكل ١٢٣ أ) ويسلط الضغط على الكباسين العلوي والأسفل ، وبذلك يتم كبس المسحوق خلال طرفي قالب الكبس (الشكل ١٢٣ ب) . وبعد إتمام عملية الكبس ، يخرج المكبوس (الشكل ١٢٣ ج) وبهذه الطريقة نحصل على مكبوسات متجانسة الكثافة نسبياً.

٣ - كبس الأشكال المعقدة :

لكبس قطع ذوات أشكال معقدة ، أبعادها غير متساوية في اتجاه محور الكبس ، تعد قوالب الكبس يراعى فيها إمكانية الكبس المتجانس للمساحيق في المقاطع المختلفة ، وذلك باستخدام عدة كباسات تتحرك ذاتياً .



شكل (١٢٣) رسم توضيحي لطريقة الكبس من الطرفين

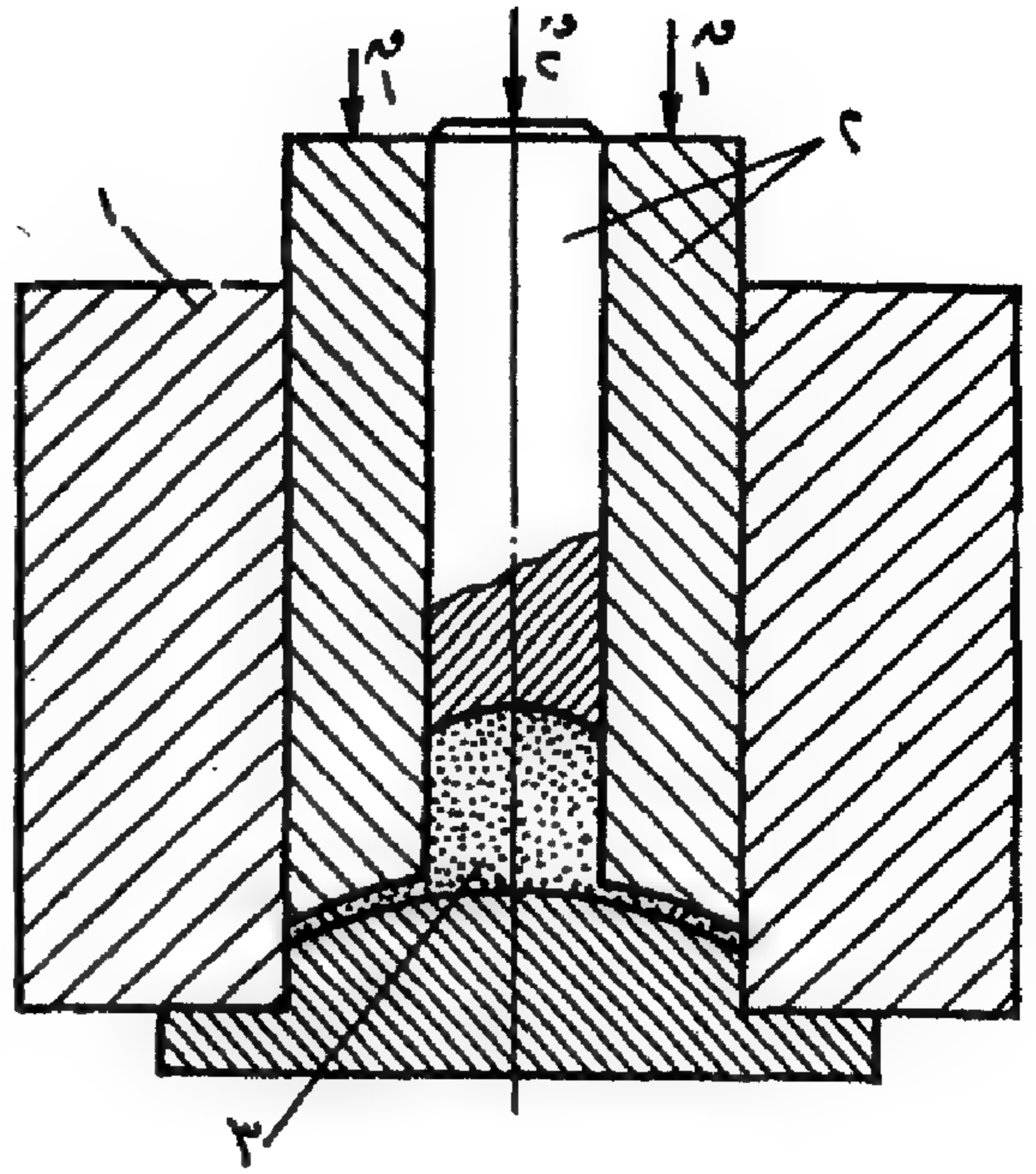
- (١) سكب مسحوق الألومنيوم ووضع الكباس
(٢) كبس المسحوق إلى منتجات
(٣) تخليص المنتجات
١ - كباس
٢ - مسحوق الألومنيوم
٣ - غلاف المكبس
٤ - الكباس الأسفل

ويوضح الشكل (١٢٤) مبادئ هذه الطريقة التي تحقق الضغط بقيم مختلفة على سائر أجزاء المسحوق المختلفة .

وعموماً يمكن القول بأن تطبيق هذه الطريقة محدود نسبياً ، ويرجع ذلك إلى صعوبة تصميم وارتفاع ثمن قالب الكبس ، وضرورة استخدام مكابس ذات قدرة عالية ، وأيضاً بسبب قلة انسياب المساحيق .

٤ - الكبس الهيدروستاتيكي :

تستخدم طريقة الكبس الهيدروستاتيكي للحصول على قطع نصف مشغلة غير دقيقة الأبعاد . وقد تعرف هذه الطريقة أيضاً باسم طريقة الكبس من جميع الاتجاهات (من جميع الجوانب) . وتتلخص هذه الطريقة في تسليط ضغط على غلاف مملوء بالمسحوق من جميع جوانبه ، بواسطة سائل ، ونتيجة لذلك يمكن الحصول على منتجات متجانسة تتميز بانتظام الكثافة في كل جسم المكبوس .



شكل (١٢٤) كبس قطع معقدة الشكل من
مسحوق الألومنيوم باستخدام عدة كبسات
١ - غلاف المكبس ٢ - الكبسات
٣ - مسحوق الألومنيوم

ويمتاز الكبس الهيدروستاتيكي بإكساب المنتجات كثافة عالية ومتجانسة ، وبعدم ظهور الشروخ الطبيعية ، أو الشقوق والعيوب الأخرى التي تنتج عن الطرق العادية للكبس ، كما يتميز ببساطة الجهاز المستخدم ، وعدم الحاجة إلى استخدام قوالب كبس غالية ، كما أنه يمكن بواسطة الكبس الهيدروستاتيكي ، كبس قطع ثقيلة الوزن ، يستحيل كبسها بطرق الكبس العادية .

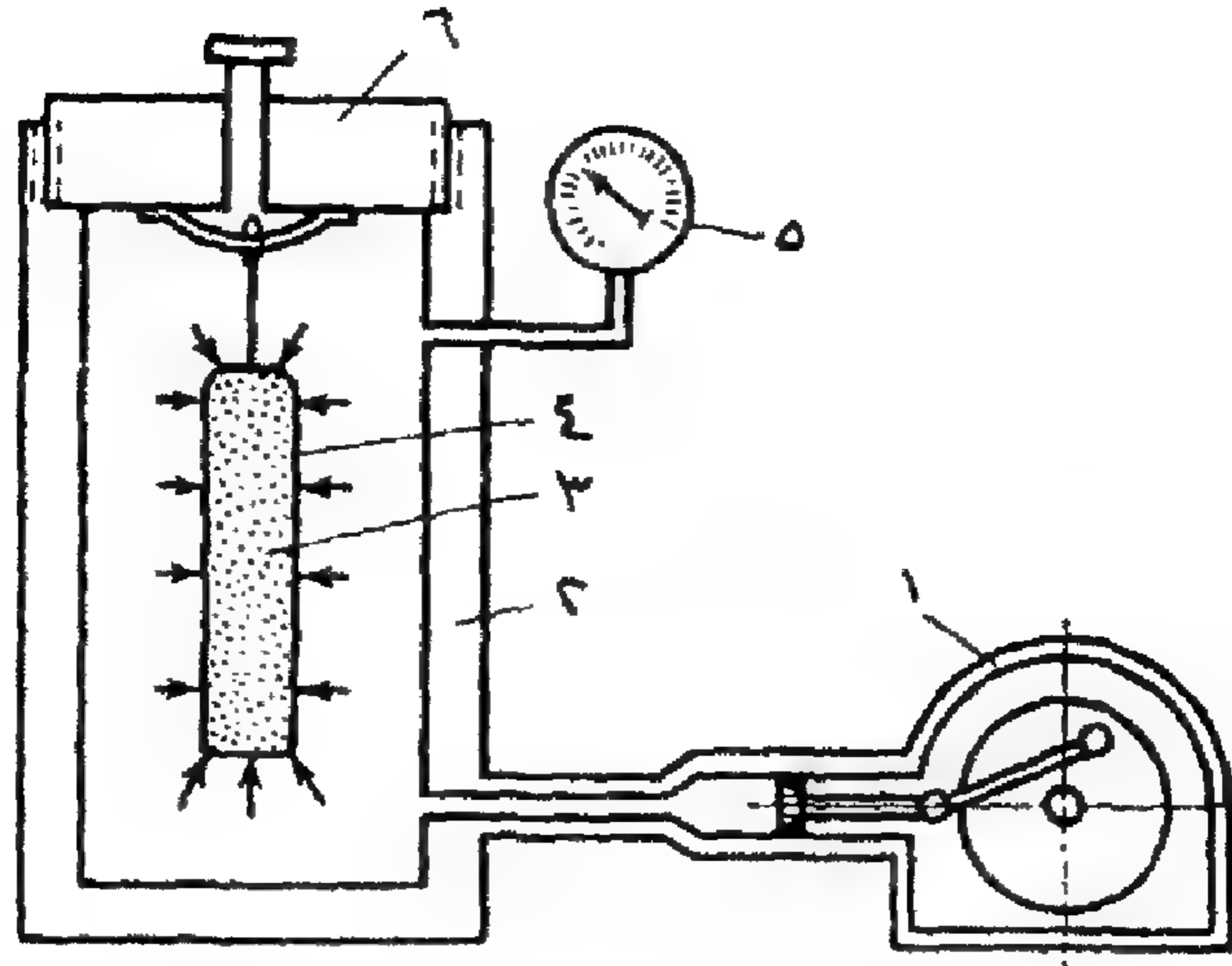
وفي الوقت الحاضر ، توجد معدات للكبس الهيدروستاتيكي ، يمكن بواسطتها الحصول على قطع يصل قطرها إلى ٦٠٠ ملليمتر ، وارتفاعها إلى أكثر من متر ، ويزيد وزنها على نصف طن .

ويبين شكل (١٢٥) رسماً تخطيطياً لجهاز الكبس الهيدروستاتيكي .

وتعتبر صعوبة الحصول على أبعاد قريبة من الأبعاد المطلوبة في المكبوسات ، من العيوب الرئيسية لعملية الكبس الهيدروستاتيكي ، كذلك يلزم إجراء عمليات ميكانيكية لاحقة للحصول على منتجات نهائية .

هـ - درفلة أو طرق المساحيق في أغلفة على الساخن :

يستخدم التشكيل على الساخن ، للحصول على منتجات ذات كثافة عالية . ويتم ذلك بواسطة الدرفلة أو الطرق للمساحيق وهي معبأة في أغلفة خاصة . وهذه الطريقة يجري تطبيقها للحصول على قطع نصف مشغلة من المساحيق ، هي في حقيقتها عملية كبس لجميع جوانب القطعة . وتتلخص العملية في وضع شحنة المساحيق في وعاء قابل للطرق ومحكم الإغلاق ، ثم تسخين الشحنة إلى درجة حرارة عالية ، دون نقطة انصهارها ، ثم تجرى الدرفلة أو الطرق على مراحل .



شكل (١٢٥) رسم توضيحي لجهاز الكبس الهيدروستاتيكي لمسحوق الألومنيوم

- | | | |
|------------------|-------------|----------------------|
| ١ - مضخة ضغط عال | ٢ - وعاء | ٣ - مسحوق الألومنيوم |
| ٤ - غلاف مرن | ٥ - مانومتر | ٦ - غطاء |

وفي العادة ، يجري إخراج المنتج من الغلاف بسهولة لعدم تلاحم أو تسابك المسحوق مع مادة الغلاف .

وبتطبيق هذه الطريقة ، يمكن الحصول على سبائك تخليقية للألومنيوم مع غيره من العناصر التي يصعب تسابكه معها في الحالة المنصهرة . وتتميز هذه العناصر بإكساب الألومنيوم مقاومة عالية للتآكل ، لعدم ترسب أصناف (أطوار) جديدة ، فزالَت هذه السبائك التخليقية مخاليط ميكانيكية لمساحيق مكوناتها وليست مركبات كيميائية اندماجية .

وتتميز هذه الطريقة بعزل المساحيق تماما عن الغازات المختلفة كالأكسجين والنيتروجين وغيرها ، مما يبعد عن القطع المنتجة أخطار التأكسد وتغلغل الغازات خلال بنية المعدن ، وما يترتب على ذلك من آثار ضارة .

٦ - درفلة المساحيق إلى شرائط :

يمكن تطبيق هذه الطريقة في الحالات التي لا تكون فيها دقة الأبعاد ذات أهمية أولى . ولإجراء درفلة المساحيق إلى شرائط ، فإنها تشحن في الوعاء (١) من الشكل (١٢٦) ، حيث تسقط المساحيق في شق بين درفيلين أفقيين يدوران في اتجاهين متضادين ، وبعبور المساحيق للشق (أو الممر) بين الدرفيلين ، فإنها تتكاسب في هيئة شريط متماسك ، لا يلبث أن يقابل مجموعة من الدرافيل الأخرى تعمل على توجيهه ليأخذ وضعاً أفقياً ، ثم يولج في فرن لتليده حرارياً ، أو يلف مباشرة دون تليد على هيئة لفات ، ومن الممكن أن تتم درفلة المساحيق إلى شرائط على البارد أو على الساخن .

ويجربى تلييد الشرائط المكبوسة داخل أفران متواصلة التشغيل فى جو من غاز الهيدروجين حتى لا تتأكسد ، ثم يجربى تلدينها بعد ذلك .

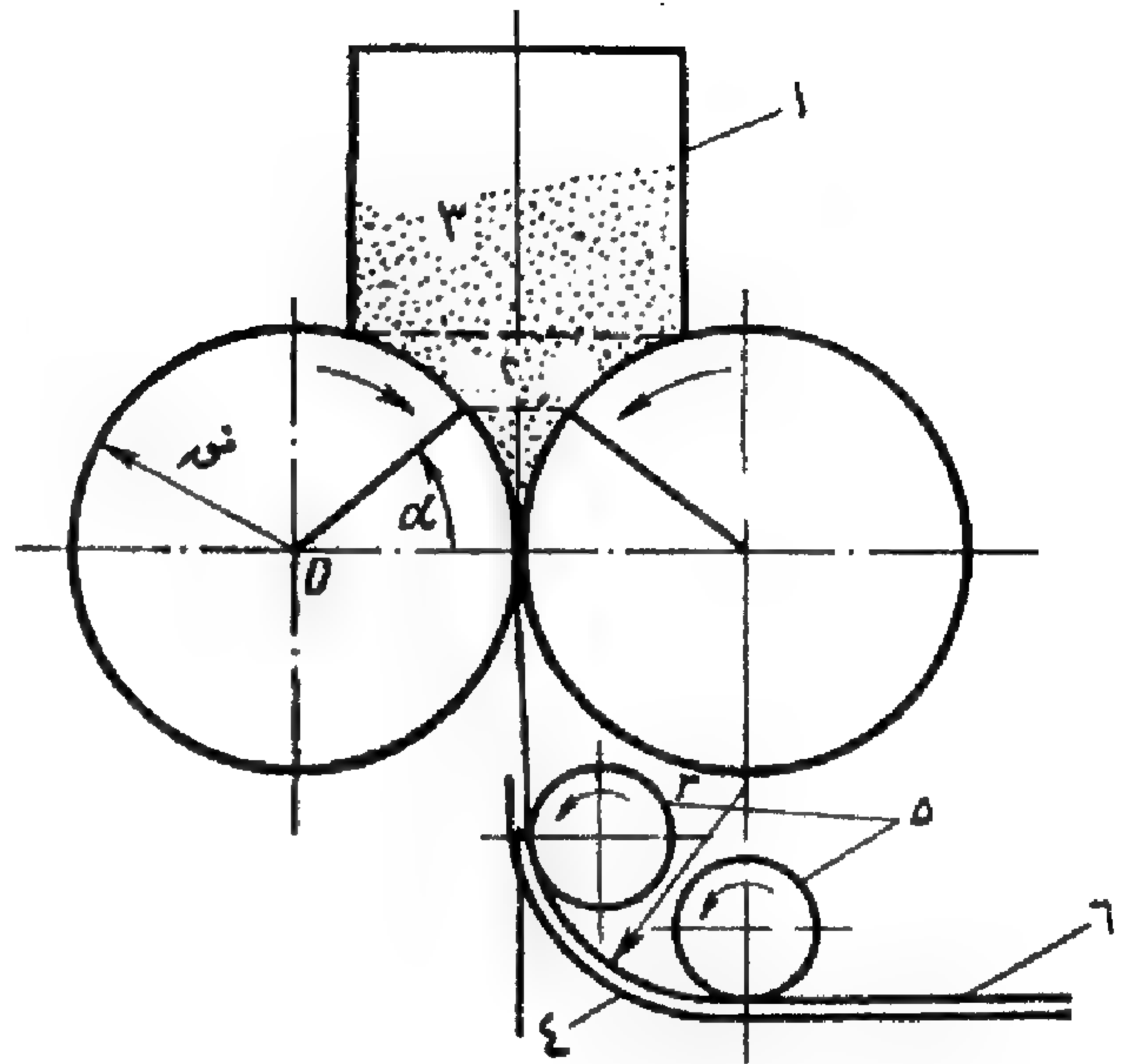
ومن الممكن إجراء عملية التلييد كهربائيا بالاستعانة بأجهزة تماس ، حيث يمرر تيار كهربائى مباشرة خلال الشريط ، فترتفع درجة حرارته ويتليد ، ثم يتعرض لعملية تلدين مناسبة بعد ذلك .

(التلييد عملية يتم خلالها تسخين الجزء المراد تلبيده حتى ينصهر جزئياً فيتماسك عند تبريده)

شكل (١٢٦)

رسم توضيحي يبين درفلة مسحوق الألومنيوم إلى شرائط :

- ١ - خزان به مسحوق الألومنيوم
- ٢ - درفيلان
- ٣ - مسحوق الألومنيوم
- ٤ - دليل توجيه
- ٥ - اسطوانتان دحروجيتان
- ٦ - الشريط بعد كبسه



٧ - كبس المساحيق بالثق إلى أسلاك أو مواسير :

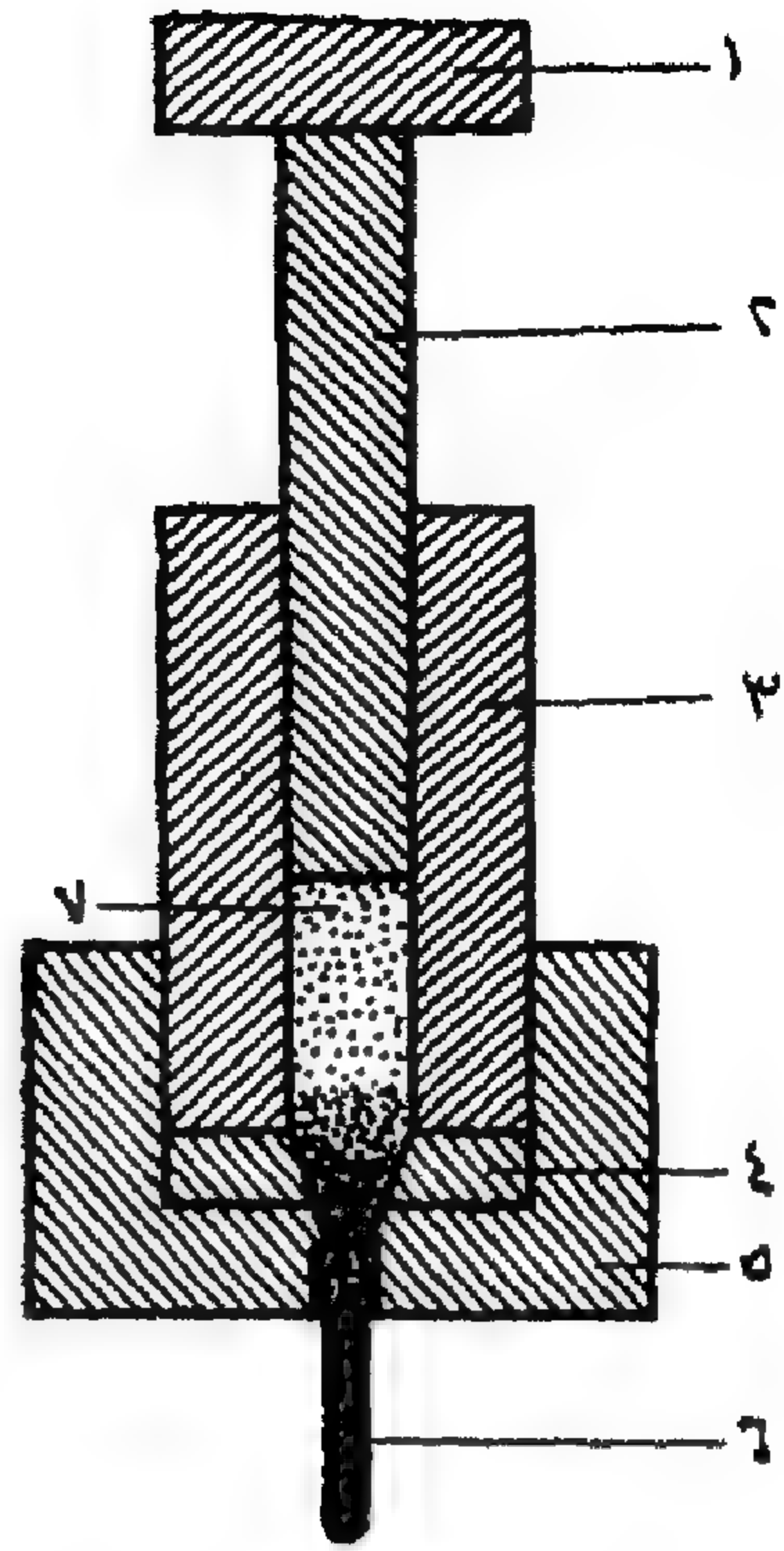
تتلخص فكرة الكبس بالثق ، فى إمرار شحنة المساحيق - المعدة للكبس ، بعد تجهيزها وإضافة مواد مزلفة تساعد على زيادة اللدونة إليها - تحت ضغط مرتفع خلال فتحة الثق ، حيث يتم تكثيف المسحوق نتيجة للاحتكاك مع سطح فتحة الثق .

ويتميز الكبس بالثق ، بالنسبة لطرق الكبس العادية ، بإمكانية الحصول على منتجات ذات كثافة متجانسة ونسبة كبيرة بين أبعادها ، الطولية والمستعرضة .

ويوضح الشكل (١٢٧) رسماً تخطيطياً لهذه الطريقة .

العلاقة بين ضغط الكبس وكثافة المنتجات :

أظهرت دراسة عملية الكبس ، أن زيادة كثافة المساحيق المكبوسة تحدث بانتظام كبير عند زيادة الضغط عن حد معين . ففى أولى مراحل الكبس ، تؤدي أقل زيادة فى ضغط الكبس



شكل (١٢٧) رسم توضيحي يبين طريقة
الكبس بالثق إلى أسلاك أو مواسير :
١ - دافعة الكباس ٢ - كباس
٣ - وعاء فولاذي ٤ - جزء مخروطي
٥ - غلاف قالب الكبس
٦ - قطعة مكبوسة نصف جاهزة
٧ - مسحوق الألومنيوم

إلى زيادة ملحوظة في كثافة المساحيق . أما في المرحلة التالية ، فلا تؤدي زيادة ضغط الكبس إلى ازدياد يذكر في الكثافة ، كما هو مبين في الرسم البياني التوضيحي بالشكل (١٢٨) . ويمكن تفسير هذه العلاقة بين الكثافة وضغط المكبس ، بأنه في البداية عند التأثير بضغط صغير ، يحدث التكثيف أساساً نتيجة للإزاحة النسبية للجسيمات المسحوق ، وتنتشر هذه الإزاحة النسبية للجسيمات تحت تأثير - ضغط المكبس في جسم القطعة بصورة غير متجانسة . فتزاح الجسيمات الموجودة في أوضاع ملائمة داخل المسام المجاورة باحتكاك ملحوظ مع بعضها بعضاً ، لذلك فإن سرعة إزاحة الجسيمات في اتجاه الكبس يساوي تقريباً سرعة إزاحة الكباس ، أما سرعة إزاحة الجسيمات الأخرى الموجودة في اتصال وثيق مع بعضها بعضاً ، وخاصة الجسيمات الملامسة لسطح قالب الكبس ، فتكون أبطأ كثيراً . وينحصر الشغل المبذول في هذه المرحلة أساساً في التغلب على قوى الاحتكاك والتنافر بين الجسيمات .

ومع زيادة كثافة المنتجات وزيادة ضغط الكبس ، يبدأ تشوه جسيمات المسحوق نفسها . وفي هذه المرحلة يبذل جزء ملحوظ من الشغل في التغلب على الاحتكاك بين جسيمات المسحوق وأسطح قالب الكبس .

ومع زيادة الضغط ، في مراحل الكبس التالية ، تتكون تجميعات للجسيمات مع تنعيم وتهذيب أسطح الجسيمات نفسها . ويتركز الشغل المبذول في هذه المرحلة في صورة إجهادات مختلفة .

شكل (١٢٨)

العلاقة بين كثافة القطع المنتجة بالكبس لمسحوق

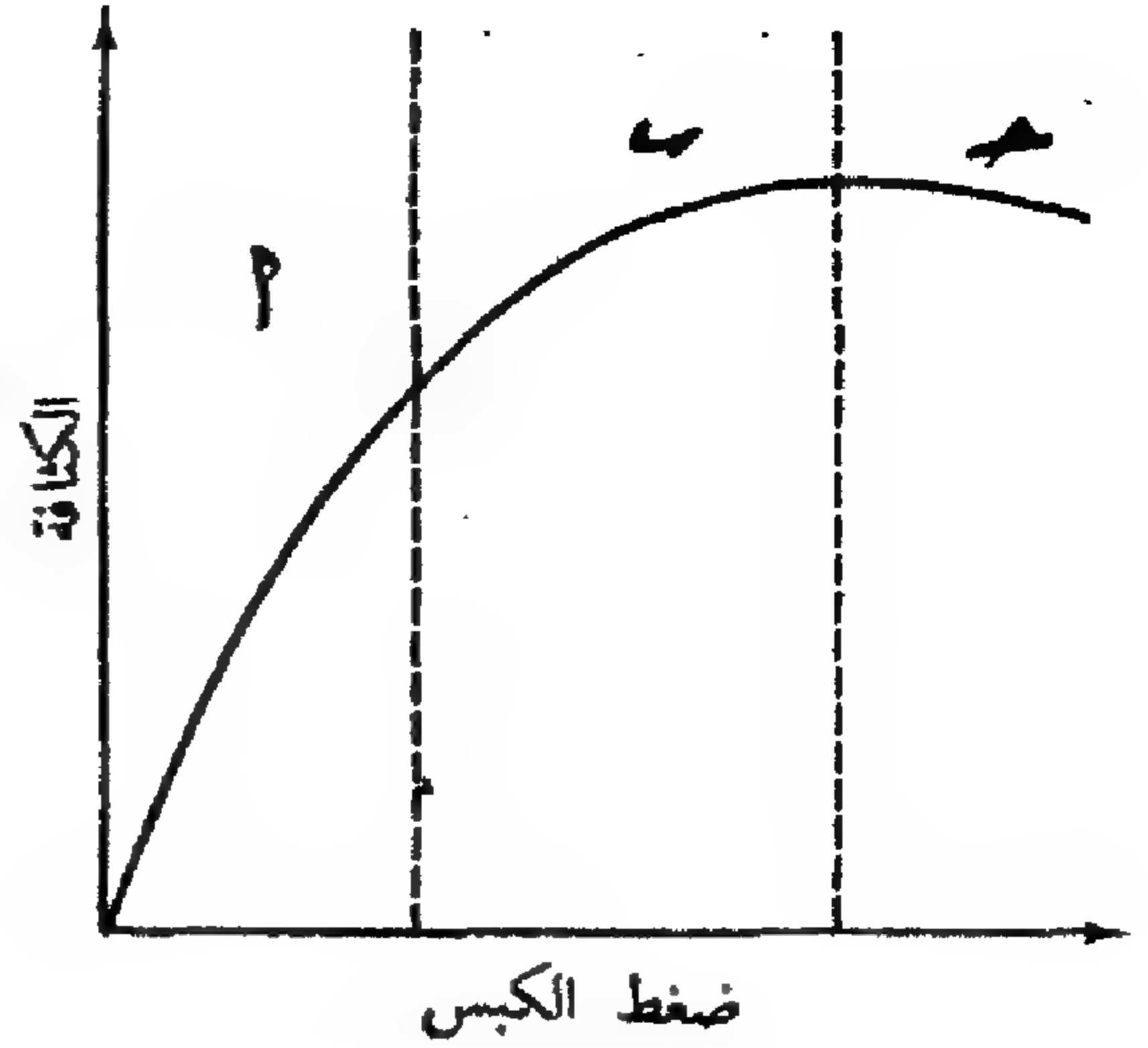
الألومنيوم وضغط الكبس :

مراحل الكبس :

(أ) المرحلة الأولى

(ب) المرحلة الثانية

(ج) المرحلة الثالثة



تأثير ضغط الكبس على متانة المنتجات :

تتغير متانة المنتجات بصورة غير منتظمة مع تغير ضغط الكبس ، (الشكل ١٢٩)

وفي المرحلة الأولى التي تناظر أقل ضغط ممكن ، تزداد المتانة بسرعة أعلى من سرعة زيادة

الضغط ، وفي المرحلة الثانية عند الضغط المتوسط تزداد المتانة متناسبة مع الضغط ، وفي المرحلة الثالثة عند تسليط ضغط مرتفع تزداد المتانة ببطء شديد .

وتؤثر الشوائب تأثيرا بالغا على متانة المنتجات ، فعند وجود نسبة عالية من الشوائب

على صورة أكاسيد ، تقل متانة المنتجات بصورة ملموسة . ويعزى ذلك إلى زيادة صلادة الطبقة السطحية لجسيمات مع نقص شديد في لدونتها .

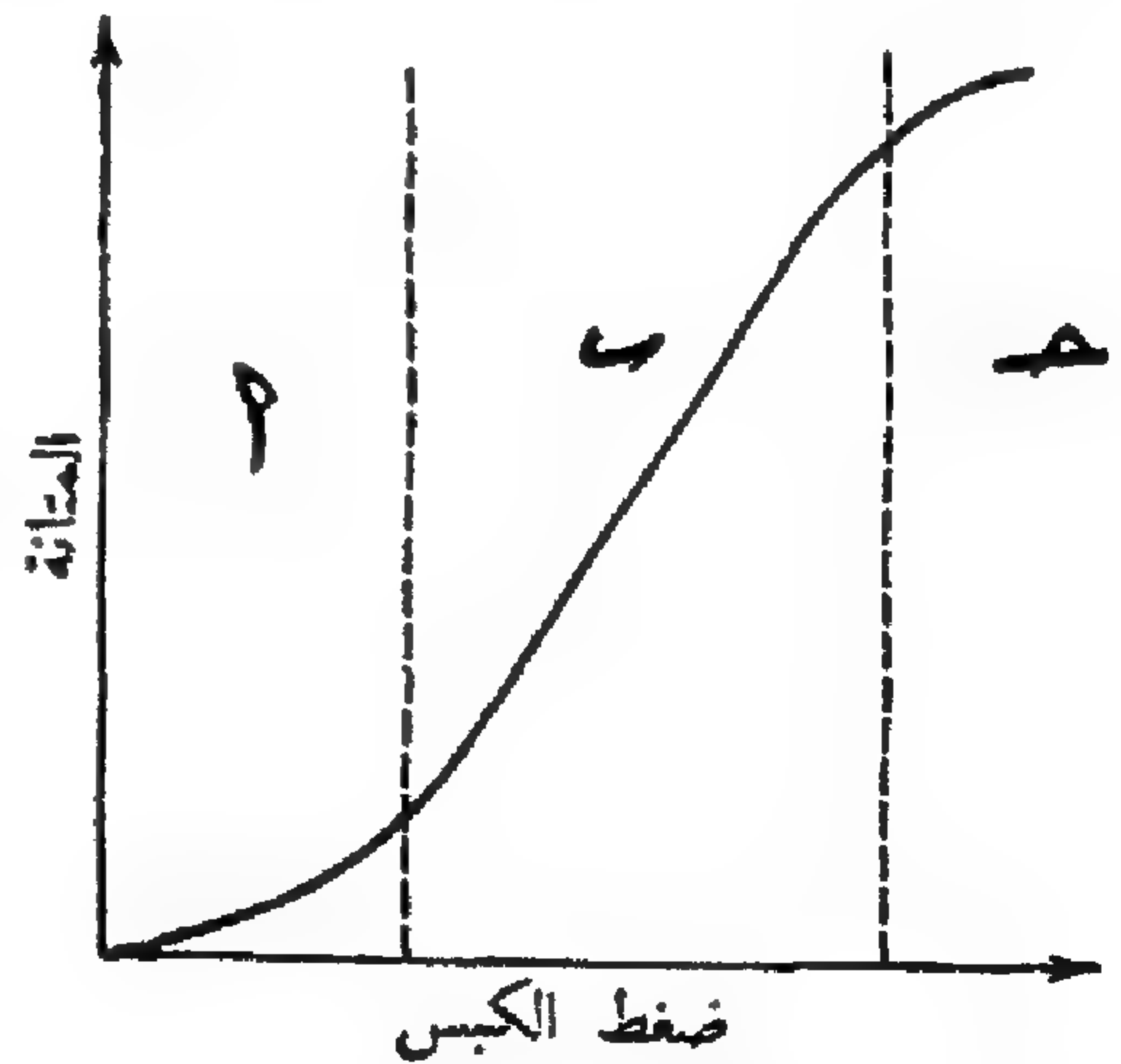
شكل (١٢٩) العلاقة بين متانة القطع
المنتجة بالكبس لمسحوق الألومنيوم وضغط
الكبس :

مراحل الكبس :

(أ) المرحلة الأولى

(ب) المرحلة الثانية

(ج) المرحلة الثالثة



كبس مساحيق الألومنيوم على الساخن :

عند كبس مساحيق الألومنيوم (وسبائكته) على البارد ، يستهلك معظم الضغط المسلط في تشويه

جسيمات المساحيق . وزيادة لدونة جسيمات المساحيق تعمل على خفض الطاقة المستخدمة في عملية

الكبس بشكل ملحوظ ، كما تزيد من كثافة ومتانة المنتجات .

وكبس مساحيق الألومنيوم على الساخن ، من شأنه أن يؤدي إلى خفض الطاقة المبذولة للكبس ، كما يعمل على تلييد المساحيق آنيا ، مما يساعد في الحصول على منتجات تتمتع بخواص ممتازة من حيث المتانة والمطيلية والموصلية الكهربائية ، بالإضافة إلى دقة الأبعاد .

ويؤدي رفع درجة الحرارة عند الكبس على الساخن ، إلى تحسين الخواص الميكانيكية ، مع تسليط ضغط أقل .

ويعتبر خفض زمن التلييد من أهم سمات طريقة الكبس على الساخن .

وبين الجدول التالي ، رقم (٦) ، درجات الحرارة وزمن التلييد اللازمين للوصول إلى نفس الخواص في حالتى الكبس على الساخن ، والكبس ثم التلييد ، على انفراد . كما يبين زمن التسخين ، ودرجة الحرارة عند التاييد في حالة الكبس على الساخن والبارد لمساحيق الألومنيوم .

جدول (٦)

نقطة الانصهار		الكبس على الساخن		التلييد بعد الكبس على البارد	
°م		درجة الحرارة م	زمن التسخين بالدقيقة	درجة الحرارة م	زمن التسخين بالدقيقة
٦٥٨		٤٢٧	٠,٧٥	٤٨٢	١٥

ويفسر الانخفاض الكبير في زمن التلييد - كما هو موضح بالجدول - مع الحصول على كثافة عالية للمنتجات ، بأنه نتيجة لتأثير قوى الضغط الخارجى عند الكبس على الساخن ، حيث تساعد جسيمات المسحوق عند درجات الحرارة العالية على زيادة أسطح التلامس فيما بينها ، كما تناسب بسهولة ويسر في شتى الاتجاهات ، وفي أغلب الأحيان يحدث انصهار جزئى لبعض جسيمات المسحوق عند أسطح تلامسها ، بسبب احتكاكها مع بعضها بعضا ، الأمر الذى يساعد على سرعة عمليات الانتشار الكيميائى بين جزئيات المسحوق ، وتسابكها ميتالورجيا متى كان ذلك متاحا .

تصنيع قطع السيراميك الفلزي التى تقاوم الحرارة من مساحيق الألومنيوم وأكسيده :

انتشر مؤخرا استخدام قطع السيراميك الفلزي المصنوعة من مساحيق الألومنيوم المزودة بنسبة من الأكسيد في الصناعة ، لما تتميز به هذه السبائك من خواص ، منها قلة الوزن النوعى ، والمتانة واللدونة العاليتين ، والمقاومة الكبيرة للتآكل بأنواعه .

وقد أجريت تجارب لدراسة إعداد قطع من مساحيق الألومنيوم ، واستخدمت في التجارب مساحيق الألومنيوم تم إعدادها عن طريق تذرية المعدن المنصهر ، بالتركيب الكيميائي التالي :

صليكون	٠,٧١٪
حديد	٠,١٢٪
منجنيز	٠,٠٦٪
نحاس	٠,٠٨٪
زنك	٠,٠٣٪
أكسيد ألومنيوم	٢,٠٠٪
ألومنيوم	٩٧,٠٠٪

ومن هذه التجارب ، تبين أنه يمكن الحصول على قطع مصنوعة من مساحيق الألومنيوم بكثافة نسبية ٩٩٪ بواسطة الكبس تحت ضغط ٥-٨ طن/سم^٢ ثم تليد المنتجات . ومن الممكن الحصول على أكبر متانة من التليد عند درجة حرارة ٦٠٠°م لمدة لا تقل عن ٣٠ دقيقة .

ولمنتجات السيراميك الفلزي الذي يدخل في تركيبها أكسيد الألومنيوم بنسبة تصل إلى ١٥ - ١٧٪ أهمية صناعية كبيرة ، فهي تتميز بمقاومة عالية للحرارة . ومتانة ممتازة عند درجات الحرارة المرتفعة ، ومن ثم يمكن استخدامها لصناعة القطاعات المكبوسة ، والمواسير ، والصفائح والمطروقات المختلفة كالكباسات ، وریش مضخات الطائرات .

استخدامات أخرى لمساحيق الألومنيوم وسبائكها :

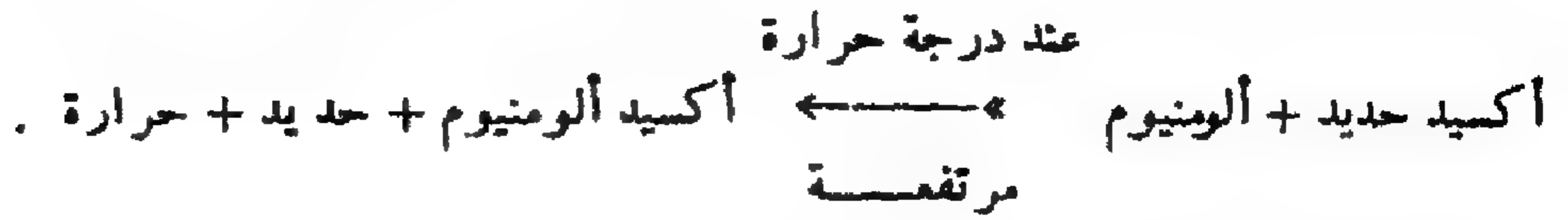
بالإضافة إلى استخدام مساحيق الألومنيوم وسبائكها في إنتاج المكبوسات وغيرها من المنتجات التي تستخدم في شتى المجالات ، هناك عدة استخدامات هامة لها ، منها :

* عمل الدهانات فضية اللون : يمزج المسحوق مع المكونات الأخرى للدهان ، ثم تجرى عليه عدة عمليات كيميائية ملائمة ، للحصول على الدهان في شكله النهائي . ويستخدم الدهان في طلاء المعدات التي يراد وقايتها من المؤثرات الجوية ، أو لعكس نسبة كبيرة من أشعة الشمس . كما يستخدم هذا الدهان على نطاق واسع في طلاء المستودعات البترولية . وعربات السكك الحديدية ، وأعمدة الإنارة وغيرها .

* عامل مختزل في صناعة الصلب : يستخدم مسحوق الألومنيوم كعامل اختزال في صناعة الصلب ، فتضاف نسبة من المسحوق إلى الصلب المنصهر في البودقة لاختزال أكاسيد الحديد المتكونة ، وإزالة الأكسجين الموجود بالمصهور .

* الترميت : الترميت مخلوط من مسحوق الألومنيوم وأكسيد الحديد . وعند رفع درجة حرارة هذا المخلوط إلى درجة معينة ، ينشط الألومنيوم كيميائياً ، حيث يقوم بانتزاع

الأكسجين من أكسيد الحديد ، ويفتج عن ذلك أكسيد الألومنيوم ومصهور الحديد الفلزى ، مع انطلاق كمية لا بأس بها من الحرارة تعمل على صهر الحديد المنزّل . طبقا للمعادلة الآتية :



وفى بعض الأحيان ، تضاف إلى مخلوط أكسيد الحديد ومسحوق الألومنيوم ، كميات صغيرة من بعض الفلزات الأخرى ، مثل النيكل والمنجنيز ، للحصول على سبائك معينة من الصلب . ويستخدم الترميت فى لحام المعادن ، وفى صنع القنابل الحارقة . وكان فوتين أول من اكتشف تفاعل هذا المخلوط عام ١٨٩٤ ، وتمكن العالم الألماني دكتور هانز جولد شميث من الاستفادة من هذا التفاعل فى لحام قضيبين من الصلب بواسطة الصلب المنصهر الناتج .

وهناك طريقة أخرى مبتكرة تعتبر تعديلا للطريقة الأولى ، ويطلق عليها « طريقة كادويل » ، على اسم مكتشفها ، وفيها يستخدم فى المخلوط الترميتى أكسيد النحاس بدلا عن أكسيد الحديد ، للحصول على النحاس المنصهر الذى يستخدم فى لحام الكابلات الكهربائية .

ولإجراء عملية اللحام بالترميت ، يوضع مخلوط مسحوق الألومنيوم والأكسيد المعدنى فى بودقة حرارية ، وبعد إشعال الخليط وتكون المعدن المنصهر ، يصب هذا المعدن من فوهة البودقة إلى حيز سبق إعداده حول حافى القطعتين المراد لحامهما ، فينصهر بالتالى جزء من الحافتين نتيجة للحرارة الشديدة ، ويتجمد منطقة المعدن المنصهر تتلاحم القطعتان وتتماسكان .

ويستخدم الترميت أيضا فى صنع القنابل الحارقة ، حيث تكون الحرارة المتولدة كافية لإضرار الحريق فيما تقع عليه من أهداف معادية . وقد تتكون القنبلة من أسطوانة من المغنسيوم محشوة بالترميت . ويوجد عند طرفها الأسفل مادة متفجرة تشتعل بمجرد اصطدام القنبلة بالهدف ، فتشعل بدورها خليط الترميت الذى يؤدى إلى اشتعال المغنسيوم ، وتكون الحرارة المتولدة من الصلب المنصهر والمغنسيوم كافية لإشعال حرائق خطيرة .

١٥ — الألومنيوم ج ١

الملحق (٢)
العناصر الكيميائية ورموزها

الرمز			مسلسل	الرمز			مسلسل
أفريقي	عربي	العنصر		أفريقي	عربي	العنصر	
Po	بل	بولونيوم	٢٧	Y	يتر	إتريوم	١
Bk	بك	بيركليوم	٢٨	Er	ير	إربيوم	٢
Be	بير	بيريليوم	٢٩	Ar	جو	أرجون	٣
Tb	تر	تربيوم	٣٠	Os	م	أزميوم	٤
Tc	تك	تكتينوم	٣١	At	متا	أستاتين	٥
Te	تل	تليوريوم	٣٢	Ac	كت	أكتينوم	٦
Ta	تا	تتاليوم	٣٣	Al	لو	ألومنيوم	٧
W	تن	تنجستن	٣٤	Am	مر	أمريسيوم	٨
Tl	تي	تيتانيوم	٣٥	Sb	نت	أنتيمون	٩
Tl	ثا	ثاليوم	٣٦	In	ند	إنديوم	١٠
Th	ثر	ثوريوم	٣٧	Eu	في	أوروبيوم	١١
Tm	ثل	ثوليم	٣٨	O	أ	أكسجين	١٢
Ga	جا	جاليم	٣٩	Yb	يت	ايتيربيوم	١٣
Gd	جد	جاولينيوم	٤٠	Ir	ير	ايريديوم	١٤
Ge	جر	جرمانيوم	٤١	Es	ش	اينشتينيوم	١٥
Fe	ح	حديد	٤٢	Ba	با	باديوم	١٦
Zn	خ	نحاس	٤٣	Pd	بلد	بالاديوم	١٧
Dy	يس	ديسبروزيوم	٤٤	Pr	بس	براسيوديوميوم	١٨
Au	ذ	ذهب	٤٥	Pa	بت	بروتكتينيوم	١٩
Rn	د	رادون	٤٦	Br	بر	بروم	٢٠
Ra	ر	راديوم	٤٧	Pm	بث	بروميثيوم	٢١
Pb	م	رصاص	٤٨	Bi	بز	بزموت	٢٢
Rb	بيد	روبيديوم	٤٩	Pt	بلا	بلاتين	٢٣
Ru	ثم	روثينيوم	٥٠	Pu	بلو	بلوتونيوم	٢٤
Rh	خص	روثينيوم	٥١	K	بو	بوتاسيوم	٢٥
Re	نيم	رينيوم	٥٢	B	ب	بورون	٢٦

الرمز				الرمز			
افرنجی	عربی	العنصر	مسلل	افرنجی	عربی	العنصر	مسلل
Cl	كل	كلور	۷۹	Hg	هـ	زئبق	۵۳
Co	كو	كوبلت	۸۰	Zr	كن	زركونيوم	۵۴
Cm	كم	كوريدم	۸۱	As	ز	زرنيخ	۵۵
La	لن	لانثانوم	۸۲	Xe	نو	زينون	۵۶
Lu	لت	لوتيشيوم	۸۳	Sr	ست	سترونشيوم	۵۷
Lw	لر	لورنسيوم	۸۴	Ce	سر	سيريوم	۵۸
Li	لث	ليثيوم	۸۵	Cs	سز	سزيوم	۵۹
Mg	مغ	مغنسيوم	۸۶	Sc	سك	سكانديوم	۶۰
Md	مف	مندلفيوم	۸۷	Se	سل	سلينيوم	۶۱
Mn	من	منغنيز	۸۸	Sm	سم	سماريوم	۶۲
Mo	مو	موليبدين	۸۹	Si	س	سيليكون	۶۳
Np	نب	نبتونيوم	۹۰	Na	ص	صوديوم	۶۴
N	ن	نروجين	۹۱	V	فا	فاناديوم	۶۵
Cu	نح	نحاس	۹۲	Ag	ف	فضة	۶۶
No	نل	نوبليوم	۹۳	F	فل	فلور	۶۷
Ni	نك	نيكل	۹۴	Fm	فم	فرميوم	۶۸
Nb	نيب	نيوبيوم	۹۵	Fr	فر	فرنسيوم	۶۹
Nd	نيو	نيوديميوم	۹۶	P	فو	فوسفور	۷۰
Ne	نن	نيون	۹۷	Sn	ق	قصدير	۷۱
Hf	هف	هفنيوم	۹۸	Cf	كف	كاليفورنيوم	۷۲
He	هي	هليوم	۹۹	S	كب	كبريت	۷۳
Ho	هو	هوليوم	۱۰۰	Cd	كد	كاديوم	۷۴
H	يد	هيدروجين	۱۰۱	C	ك	كربون	۷۵
I	ي	يود	۱۰۲	Cr	كر	كروم	۷۶
U	يو	يورانيوم	۱۰۳	Kr	كن	كريبتون	۷۷
—	—	—	—	Ca	كا	كلسيوم	۷۸

الملحق (٣)

تأثير بعض الكيماويات على الألومنيوم وسبائك

التصنيف :

الكيماويات التي تنتمي إلى القسم « أ » : لا يتأثر الألومنيوم بدرجة خطيرة بهذه الكيماويات عند درجات الحرارة المتأددة وفي غياب العوامل التي تعمل على تعقيد الموقف ، مثل الشوائب الأكاله في هذه الكيماويات أو التأثير الجلفاني الذي ينتج عن اتصال فلزين غير متشابهين .

الكيماويات التي تنتمي إلى القسم « ب » : يجب عدم استخدام الألومنيوم إلا بعد إجراء تجارب عليه والتأكد من صلاحيته في هذه الظروف .

الكيماويات التي تنتمي إلى القسم « X » : لا يمكن استخدام الألومنيوم بصورة مرضية إلا إذا كانت هناك ظروف خاصة عند الاستخدام ، وحتى في هذه الحالة فإنه يجب تجربته .

أيضا أوصى باستخدام الألومنيوم (١) ، أو أجزء محاولة استخدام (ب) ، فإن التوصيات تشير ضمنا إلى الكيماويات المركزة (١٠٠٪) إلا إذا نص على غير ذلك ، وأيضا أوصى بعدم استخدام الألومنيوم (X) ، فإن التوصيات تتضمن الكيماويات عند أية درجة تركيز .

التصنيف	١ - عوامل غير عضوية
أ	محاليل حمض البوريك ١-٥٪
ب	حمض الكروميك (النقى) (بأى تركيز)
X	حمض الهيدروكلوريك
X	حمض الهيدروفلوريك ١ - ٦٠٪
ب	حمض النتريك
X	حمض الفوسفوريك
ب	حمض الكبريتيك
ب	حمض الكبريتوز
أ	الأمونيا ، غاز أو سائل
ب	فلوريد الأمونيوم (بأى تركيز)
ب	هيدروكسيد الأمونيوم - الوزن النوعى ٨,٨
ب	أملاح الأمونيوم (معظمها)
أ	كبريتيد الأمونيوم (بأى تركيز)

ب	أملاح حمضية	
أ	البكربونات القاعدية للفلزات	
×	الكربونات القاعدية للفلزات (بأى تركيز)	
×	الهيدروكسيدات القاعدية للفلزات (بأى تركيز)	
ب	الحسرينات (بأى تركيز)	
ب	محاليل البوركس ١ - ٣ ٪	
×	البروميدات	
×	الكلوريدات (جميعها)	
ب	الكرومات (أغلبها) بأى تركيز	
×	فلمينات الزئبق	
×	أملاح الفلزات الثقيلة (معظمها)	أملاح الفلزات
×	الهيدروكسيدات (أغلبها) بأى تركيز	وهيدروكسيداتها
×	الأيوديدات	
×	أملاح الزئبق	
ب	النترات (جميعها)	
أ	البرومينات (معظمها) بأى تركيز	
×	الفوسفاتات (معظمها) بأى تركيز	
×	هيدروكسيد البوتاسيوم (بأى تركيز)	
أ	نريد البوتاسيوم	
ب	الملح (كلوريد الصوديوم)	
×	هيدروكسيد الصوديوم (بأى تركيز)	
ب	سليكات الصوديوم (الزجاج المسائي) بأى تركيز	
أ	الكبريتات	
أ	بخار الماء ١٠٠ ٪	
أ	الماء (به كربونات)	
×	الماء (به كلور)	الماء
أ	الماء (المقطر)	
أ	مساء المطر	

التصنيف	١ - عوامل غير عضوية
X	محاليل القصر
X	الفلور
ب	فوق أكسيد الهيدروجين ٢-٣٠ ٪
أ	كبريتيد الهيدروجين
ب	حبر (حديدى) ١٠٠ ٪
X	الزئبق
ب	غازات نتروجينية ١٠٠ ٪
أ	الأكسجين
أ	الكبريت
أ	ثنائي أكسيد الكبريت

التصنيف	٢ - عوامل عضوية
أ	حمض الخليك
أ	حمض الكربونيك (الفينول)
أ	الأحماض الدهنية
!	حمض الكربونيك
ب	أحماض الفواكه
ب	أحماض عضوية (معظمها)
ب	كحول بوثيل
ب	كحول إيثيل
ب	كحول ميثيل (١٠٠ ٪)
ب	كحولات أعلى
X	أنيلين ، سائل
ب	أنتراسين
X	حمض الأنثرانيك

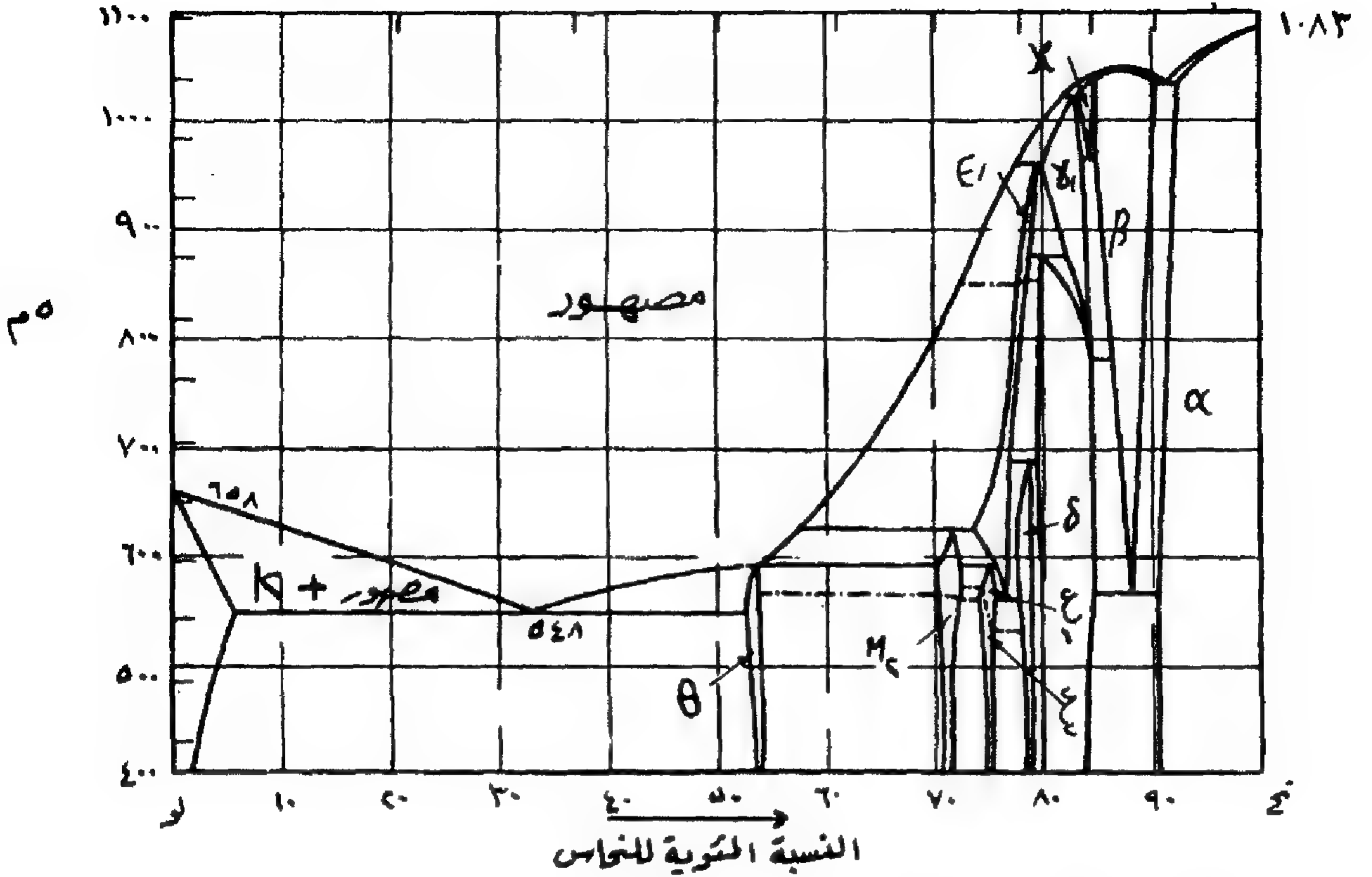
قطران الفحم ومشتقاته

التصنيف	٢ عوامل عضوية
أ	بنزين
ب	كبريزول
ب	نفتالين
أ	فينول (حمض الكربوليك)
أ	تولوين
أ	البيرة ١٠٠٪
أ	الزبد ١٠٠٪
أ	دهون (خالية من الأحماض)
ب	عصير الفواكه
أ	جيلاتين (بأى تركيز)
أ	زيوت نباتية
أ	محاليل سكرية بأى تركيز (خالية من الأحماض)
أ	الحل
أ	أسفلت
أ	زيوت الخروع
أ	جازولين (خالى من الرصاص)
ب	جازولين (به رصاص)
أ	شحمة (خالى من الأحماض)
أ	زيت الباك الهيدروليكية
أ	الهيدروكربونات
أ	الكيروسين
أ	زيت بذر الكتان
أ	زيت حيوانى (خالى من الأحماض والكلوريدات)
أ	زيت معدنى (خالى من الكلوريدات)
أ	زيت نباتى (خالى من الكلوريدات)
أ	مشتقات البترول (خالية من الكلوريدات)
أ	قار
أ	شمع (خالى من الأحماض)
	زيوت ، شحوم ، شموع ، ومنتجات زيوت البترول

ا	استلدهايد	
ا	اسيتون (باى تركيز)	
ا	استيلين	
ب	كافور	
ا	ثانى كبريتيد الكربون	
ا	ثانى اكسيد الكربون	
ا	اول اكسيد الكربون	
ب	رابع كلوريد الكربون (جاف)	
ا	سليولوز	
×	كلورفورم	
ا	الكوبال (صمغ راتنجى)	
ا	انسير	
ب	خلات الايثيل (جافة)	
ا	كلوريد الايثيل (جاف)	عوامل عضوية مختلفة
ب	بروميد الايثيلين	
ب	جليكول الايثلين	
ب	الفورمالدهيد (باى تركيز)	
ا	غاز الإضاءة	
ب	صمغ ، غراء (باى تركيز)	
ا	جليسرين	
ب	حبر (صباغة)	
×	كلوريد الميثيل	
ا	نقرو جليسرين	
ب	مبردات	
ا	مطاط ومواد لاصقة له	
ب	محاليل الدباغة	
ا	رابع كلوريد الايثلين (جاف)	
ا	زيت التربينينا	
ا	اليوريا	

الملحق (٤)

بعض منحنيات الإتران الحرارى لمجموعات ثنائية لسبائك الألومنيوم
(لو - نح) ألومنيوم - نحاس



يتضح من الشكل أن علاقات الاتزان في المنطقة بين ٢٠-٣٠٪ ألومنيوم لم يستدل عليها تماماً . وخلال تبريد سريع يتحول الصنف β إلى واحد من ثلاثة أصناف شبه مستقرة .

ذائبية النحاس في الألومنيوم في الحالة الصلبة : ١,٤٪ عند ٥٠٠°م ، ٢,٦٪ عند ٤٥٠°م ، ١,٥٪ عند ٤٠٠°م ، ٠,٨٥٪ عند ٣٥٠°م ، ٠,٤٥٪ عند ٣٠٠°م

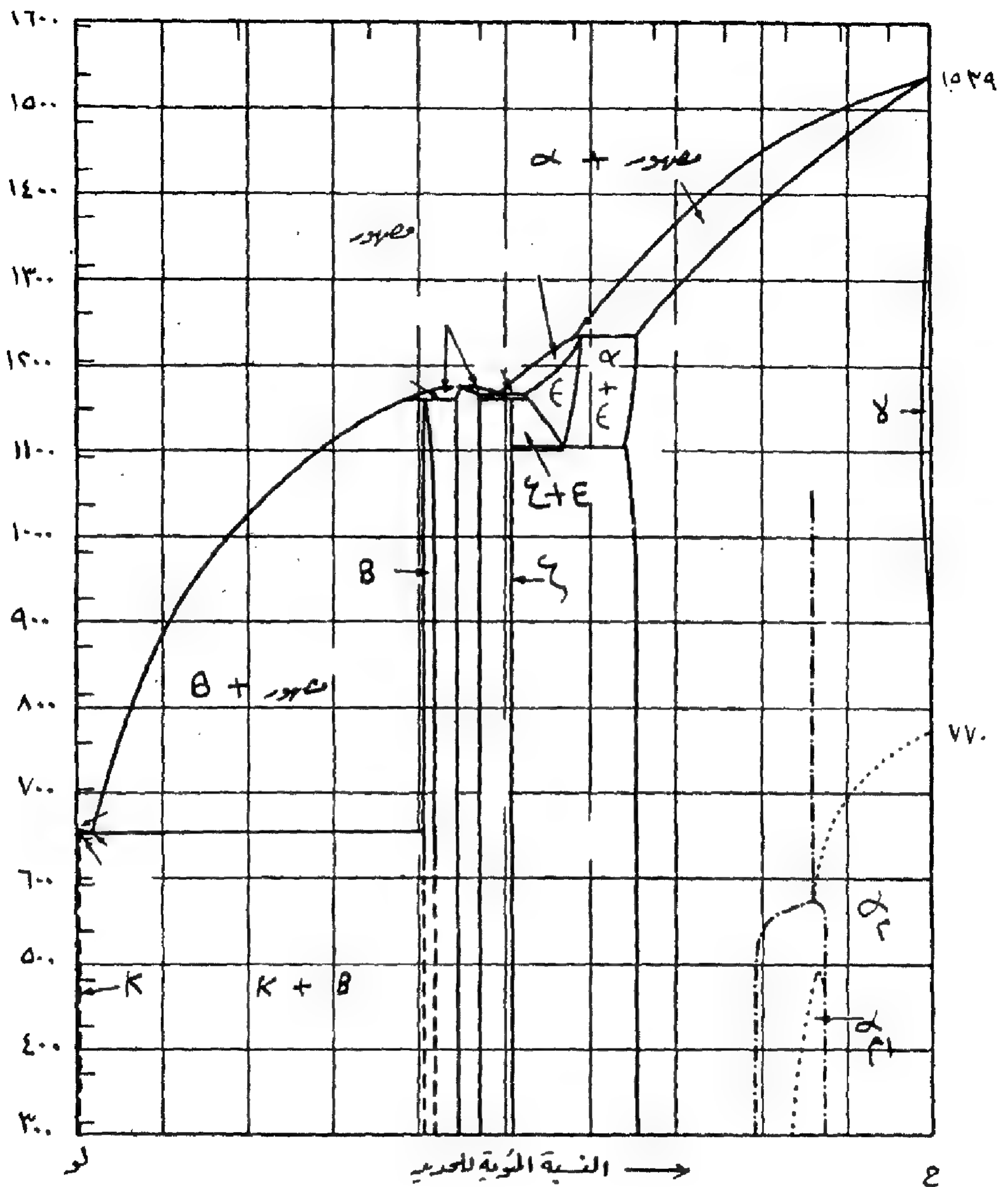
ذائبية الألومنيوم في النحاس في الحالة الصلبة : ٨٪ عند ٨٩٠°م ، ٨,٥٪ عند ٧٩٠°م ، ٩٪ عند ٦٩٠°م ، ٩,٤٪ عند ٥٦٠°م .

السبائك التي تقع عند طرفي منحنى الاتزان لها أهمية اقتصادية ، ومن ثم فن المستصوب رسم طرفي هذا المنحنى بشئ من التفصيل .

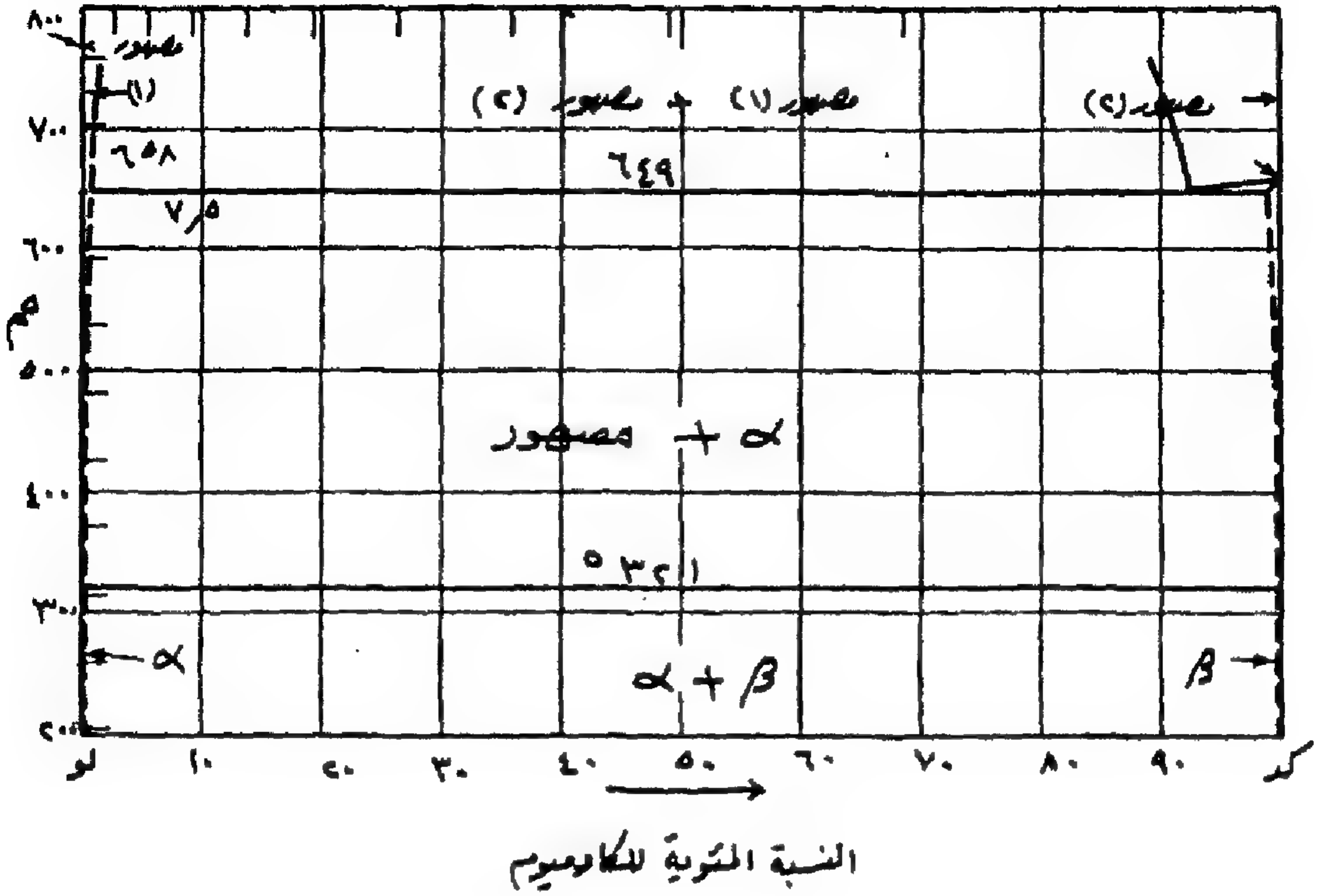
تحتوى سبائك برونز الألومنيوم (الفنى بالنحاس) على نسب تتراوح بين ٤-١١٪ من الألومنيوم مع - أو بدون - عناصر سبيكة أخرى أهمها الحديد أو النيكل .

وتحتوى سبائك الألومنيوم في هذه المجموعة على نسبة تتراوح بين ١٢-١٥٪ من النحاس ، بالرغم من أن سبائك الألومنيوم القابلة للتشكيل لا تحتوى - عادة - على أكثر من ٥٪ من النحاس . وتعرض سبائك الألومنيوم التي تحتوى على النحاس (سواء القابلة للتشكيل أو سبائك المسبوكات) لمعاملة حرارية بهدف تحسين خواصها الميكانيكية .

* * *



يتضح من الشكل البياني أن الصنف θ والذي يناظر تقريبا الصيغة ح لو_٣ ، يتحول إلى الصيغة ح_٢ لو_٧ درجة حرارة أقل قليلا من ٦٠٠°م. تصل ذائبية الحديد في الألومنيوم النقي إلى حوالي ٠,٠٣ ٪ عند درجة حرارة اليوتكتي (٦٥٥°م) ، وتقل بانخفاض درجة الحرارة .

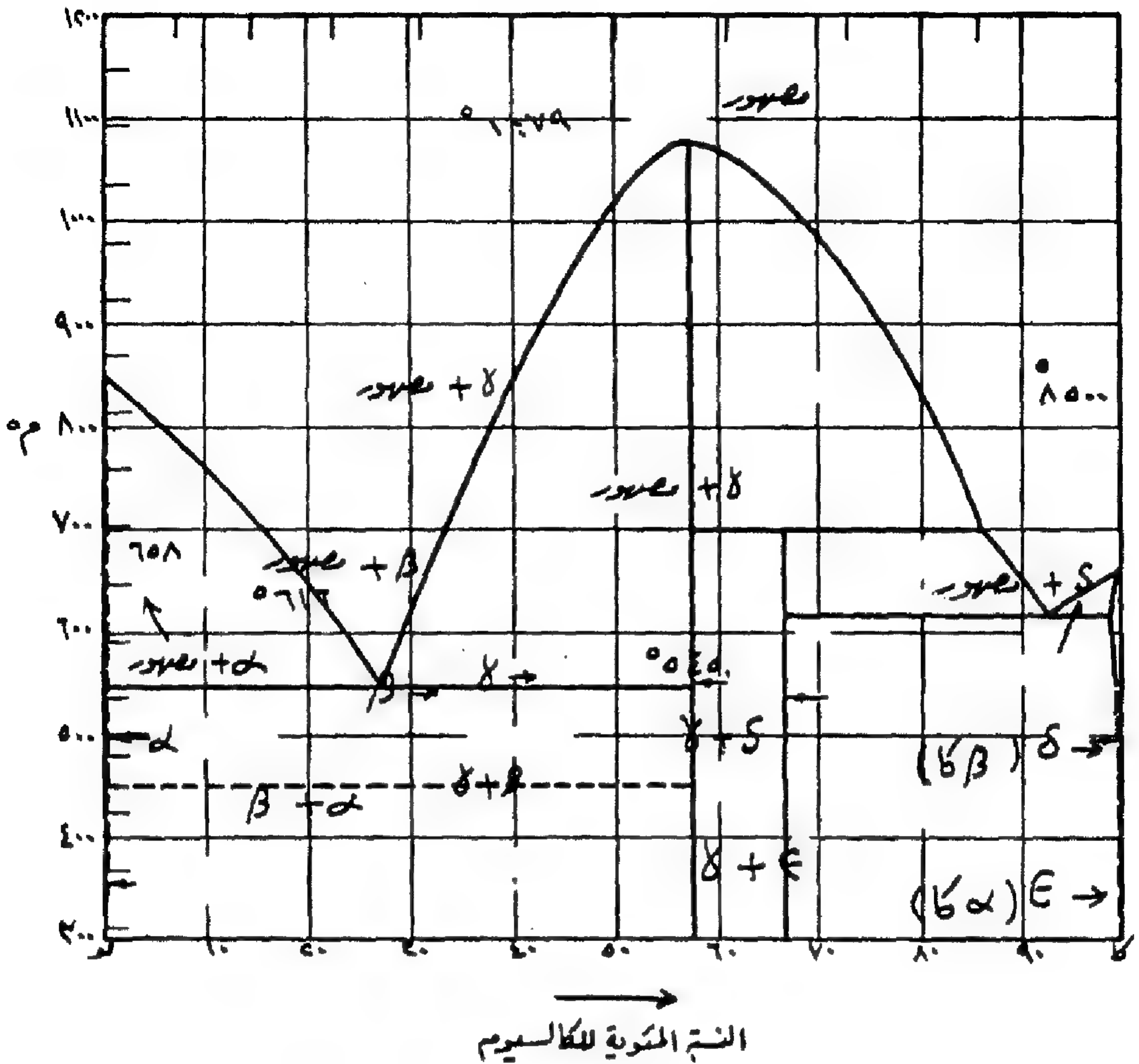


(لو-كد) ألومنيوم - كد ميوم

لم تحظ هذه المجموعة الثنائية بالأهتمام المناسب لدى الباحثين ، وأن كان قد تم رسم منحنى الاتزان لهذه المجموعة ، إلا أن كثيراً من تفاصيله لم تحدد بدقة كافية .

ووجد أن ذائبية الكاديوم في الألومنيوم في حالة الصلابة منخفضة وتبلغ ١٪ عند درجة حرارة اليوتكتي (٦٤٩ م °) . ولكن فيما يختص بذائبية الألومنيوم في الكاديوم في حالتي الصلابة والانصهار ، فهي غير متاحة ، وعلى الأرجح فهي متناهية الصغر .

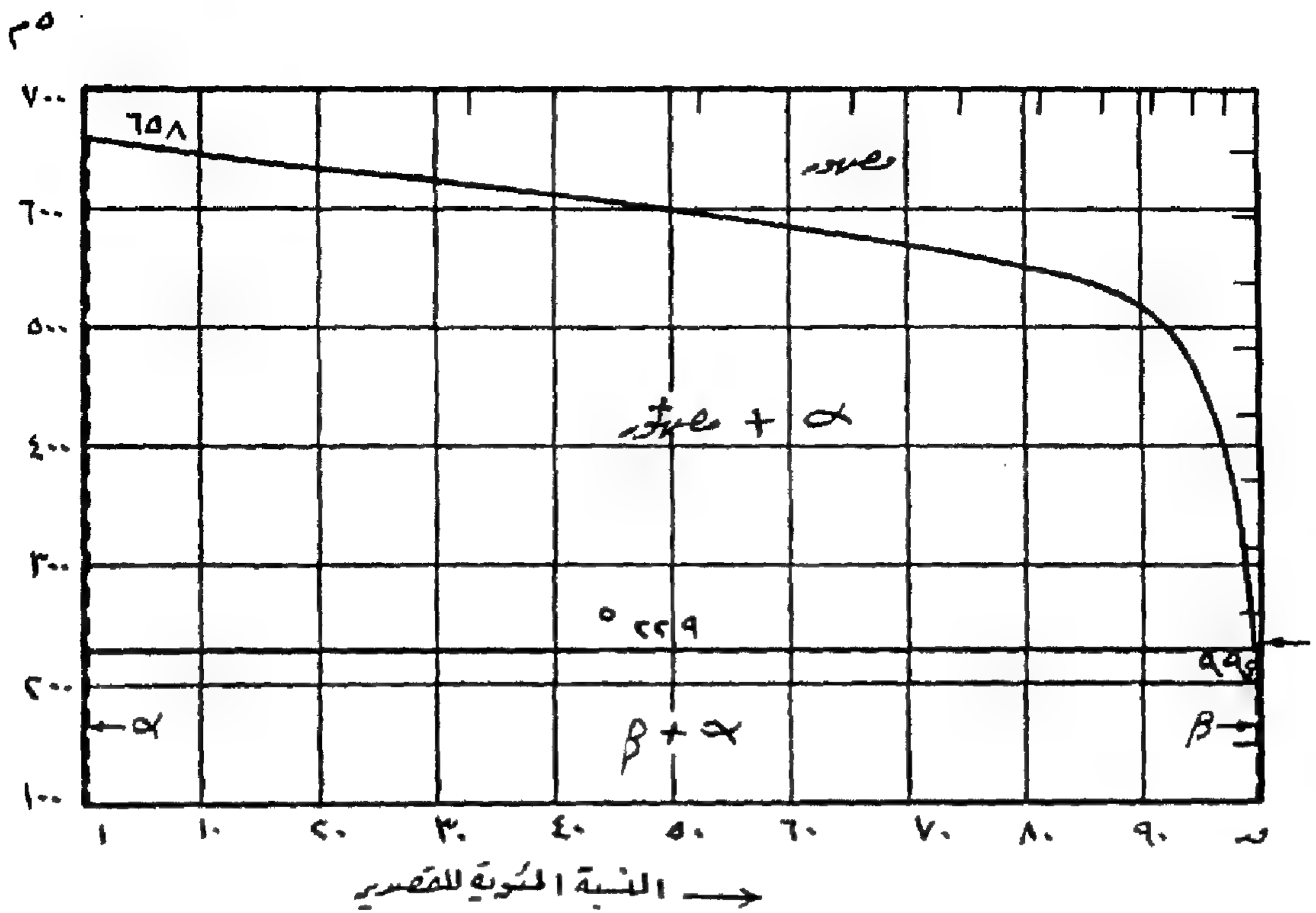
ويوصى باستخدام الكاديوم في سبائك الألومنيوم للحام ، وفي سبائك الألومنيوم التي تستخدم في المحامل ، وفي سبائك الألومنيوم سهل القطع .



(ز-لو-كا) ألومنيوم - كالسيوم

نسبة تداوب الكالسيوم في حالة الصلابة منخفضة وتبلغ ٠,٦٪ عند ٦٠٠°م ، وتزداد بحدّة حتى تبلغ ٢,٨٪ عند ٦١٦°م . وطبقا للمعلومات المتاحة ، فإن الصنف B يناظر الصيغة الكيميائية لوم كا ، وإن كان قد أشير حديثا إلى أن الصيغة الأكثر تأكيدا هي لو كا .

وليس لسبائك الألومنيوم - الكالسيوم أية أهمية تجارية . ومع ذلك يستخدم الكالسيوم تجاريا كمعصر سبيكي ثانوى في سبائك الديورالومين ، بهدف تحسين قابليتها للتشغيل على الساخن .



(لو - ق) ألومنيوم - قصدير

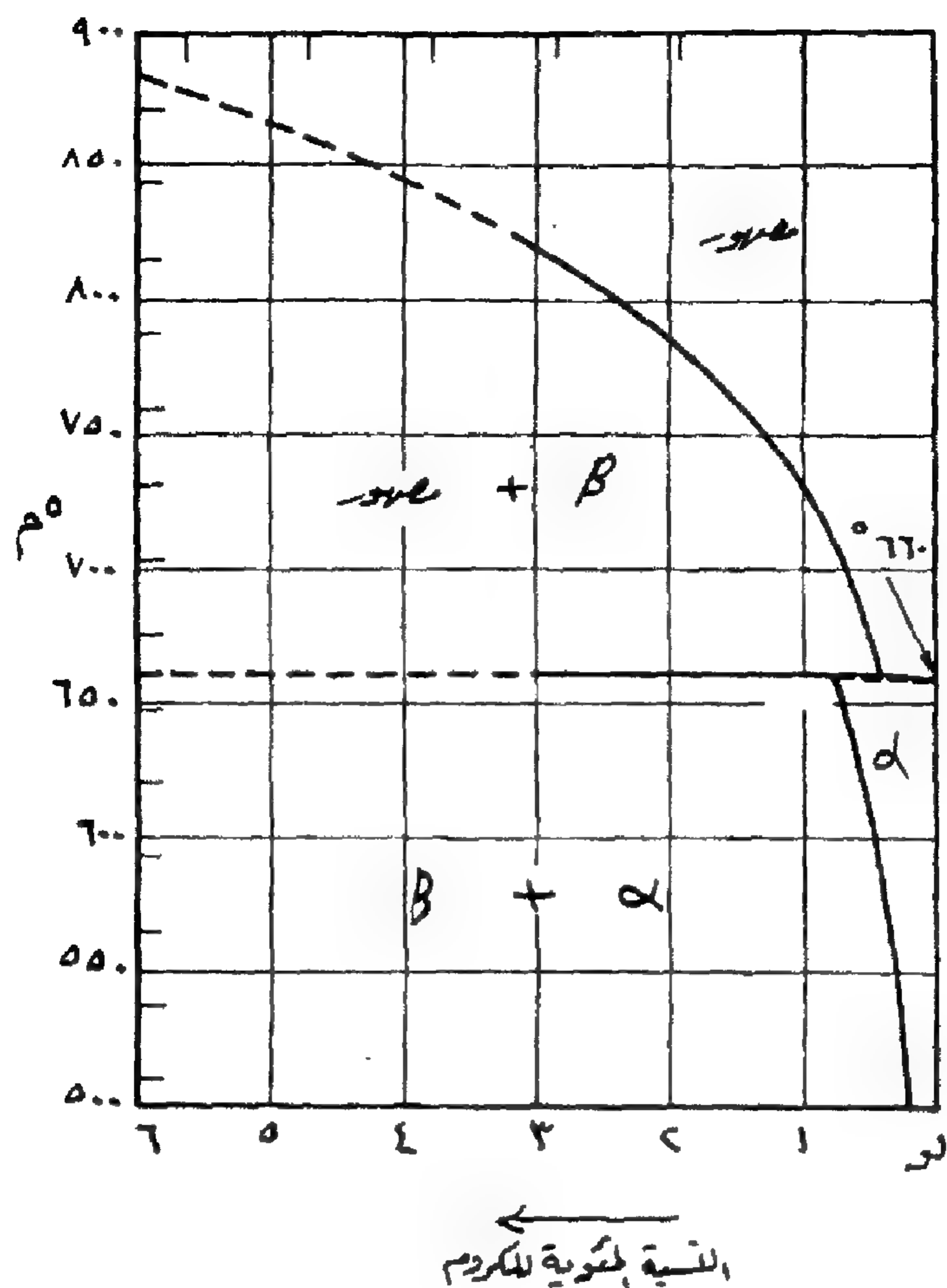
لم يتم التوصل إلى قيمة محددة لذائبية عنصر القصدير في الألومنيوم في حالة الصلابة . ولكن يمكن القول - بصفة عامة - بأن القصدير شحيح الذوبان في الألومنيوم في هذه الحالة .

ومن النتائج التي يؤخذ بها لتذوب القصدير في الألومنيوم الآتي :

• ٥,٥ ٪ عند ٥٥٠ م

• بضعة أجزاء من الألف (في المائة) عند درجة حرارة اليوتكتي (٢٢٩ م) .

• تنعدم ذائبية القصدير في الألومنيوم عمليا عند درجات الحرارة تحت درجة اليوتكتي .



(لو-كر) ألومنيوم - كروم

يبين الشكل ذلك الجزء من منحنى الاتزان لو - كر الذي تم استقصاؤه بدرجة كافية الصنف B - الذي يوجد في حالة اتزان مع المحاليل الغنية بالألومنيوم - صيفته كر لو . وجد أن ذلك الصنف يتكون نتيجة تفاعل بريتكى يتم بين مصهور وصنف جامد غنى بالكروم عند درجة حرارة بين 760-800° م . ولم يلاحظ هذا التفاعل في السبائك التي تحتوى حتى 2% من الكروم .

وهناك القليل من سبائك الألومنيوم التي تحتوى على كميات قليلة من الكروم (0.1-0.3%). وفي بعض السبائك تحدث إضافة الكروم تحسينا ملحوظا للمقاومة للتآكل الكيميائي .

* * *

(٥) المثلث

المعاملات اطرارية لبعض مسائل الاستعمال

ثانياً - لآلة آثار التشغيل على البار د				أولاً - لتطرية السيكة بعد المعاملة الحرارية			
معدل التبريد	زمن التثريب الحرارى (ساعة)	درجة حرارة التثريب الحرارى (°م)	معدل التبريد	زمن التثريب الحرارى (ساعة)	درجة حرارة التثريب الحرارى (°م)	السيكة	
ب	٢	٨ ± ٣٤٠		لا تعامل حرارياً	١٢ ± ٤١٠	ب	
أو ب	٢	٨ ± ٤٠٠	ب	لا تعامل حرارياً	١٢ ± ٤١٠	١	
ب	٢	٥ ± ٣٤٠	ب	٢	١٢ ± ٤١٠	٢	
أو ب	٢	٥ ± ٣٤٠	ب	٢	١٢ ± ٤١٠	٨	
ب	٢	٥ ± ٣٤٠	ب	٢	١٢ ± ٤١٠	٨	
أو ب	٢	٥ ± ٣٤٠	ب	لا تعامل حرارياً		مكينة	
ب	٢	٥ ± ٣٤٠	ب	لا تعامل حرارياً		بالسيكة	
أو ب	٢	٥ ± ٣٤٠	ب	٢	١٢ ± ٤١٠	١٢	
ب	٢	٥ ± ٣٤٠	ب	٢	١٠ ± ٣٦٠	٥	
أو ب	٢	٥ ± ٣٤٠	ب	٢	١٢ ± ٤١٠	١٧	
ب	٢	٥ ± ٣٤٠	ب	٢	١٢ ± ٤١٠	٢	

مسئلات التبريد : (أ) تبريد موافق

(ب) يرد الفرن بمعدل ٥٣٠ م/ساعة حتى ٢٦٠ م

(ج) تبريد هوائي حتى ٥٢٢٠°م ثم التبريد الجاف لمدة ٤ ساعات عند هذه الدرجة من الحرارة.

رابعاً - للمتيقن (بالإزمان)		ثالثاً - لتفريب المكونات في محلول		السيكة
زمن التمتيقن (ساعة)	درجة حرارة التمتيقن (°م)	التسقية	درجة حرارة التفريب (°م)	
لا تعامل حرارياً	٢ ± ١٨٢	لا تعامل حرارياً	٥٠٨-٥٠٠	١ - ٤
٨	٢ ± ١٧٧	٧ تعامل حرارياً		١ - ٧
١٠	٢ ± ١٧١	ماء بارد (٢)		٨ - ٨
١٨	٢ ± ١٦٠	ماء بارد		٨ - ٨
٥٠	٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠	ماء بارد	٥١٠ - ٥٠٠	١ - ٦
١٠	٢ ± ١٧١	ماء بارد	٥٢٠ - ٥١٠	١ - ٧
٩ أو ١٢	٢ ± ١٩٠	ماء بارد	٥٢٠ - ٤٩٠	٨ - ٨
٩ أو ١٢	٢ ± ١٩٠	ماء بارد	٥٠٠ - ٤٩٠	٨ - ٨
لا تعامل حرارياً	٢ ± ١٧١	ماء بارد	٥٢٤ - ٥١٣	٩ - ٩
١٢	٢ ± ١٧١	ماء بارد	٥٢١ - ٥١٠	١٠ - ١٠
١٢	٢ ± ١٧٧	ماء بارد	٥٢٦ - ٥١٥	١١ - ١١
٨	٢ ± ١٧٧	لا تعامل حرارياً	٥١٠ - ٥٠٠	١٢ - ١٢
٨	٢ ± ١٧٧	ماء بارد	٤٤٨ - ٤٣٢	١٧ - ١٧
٨	٢ ± ١٥٧	ماء بارد (٢)	٤٤٨ - ٤٣٢	١٧ - ١٧
٢٥	٢ ± ١٢٥	ماء بارد	٥١٠ - ٥٠٠	٢ - ٢
٥٠	٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠	ماء بارد	٥١٠ - ٥٠٠	٢ - ٢

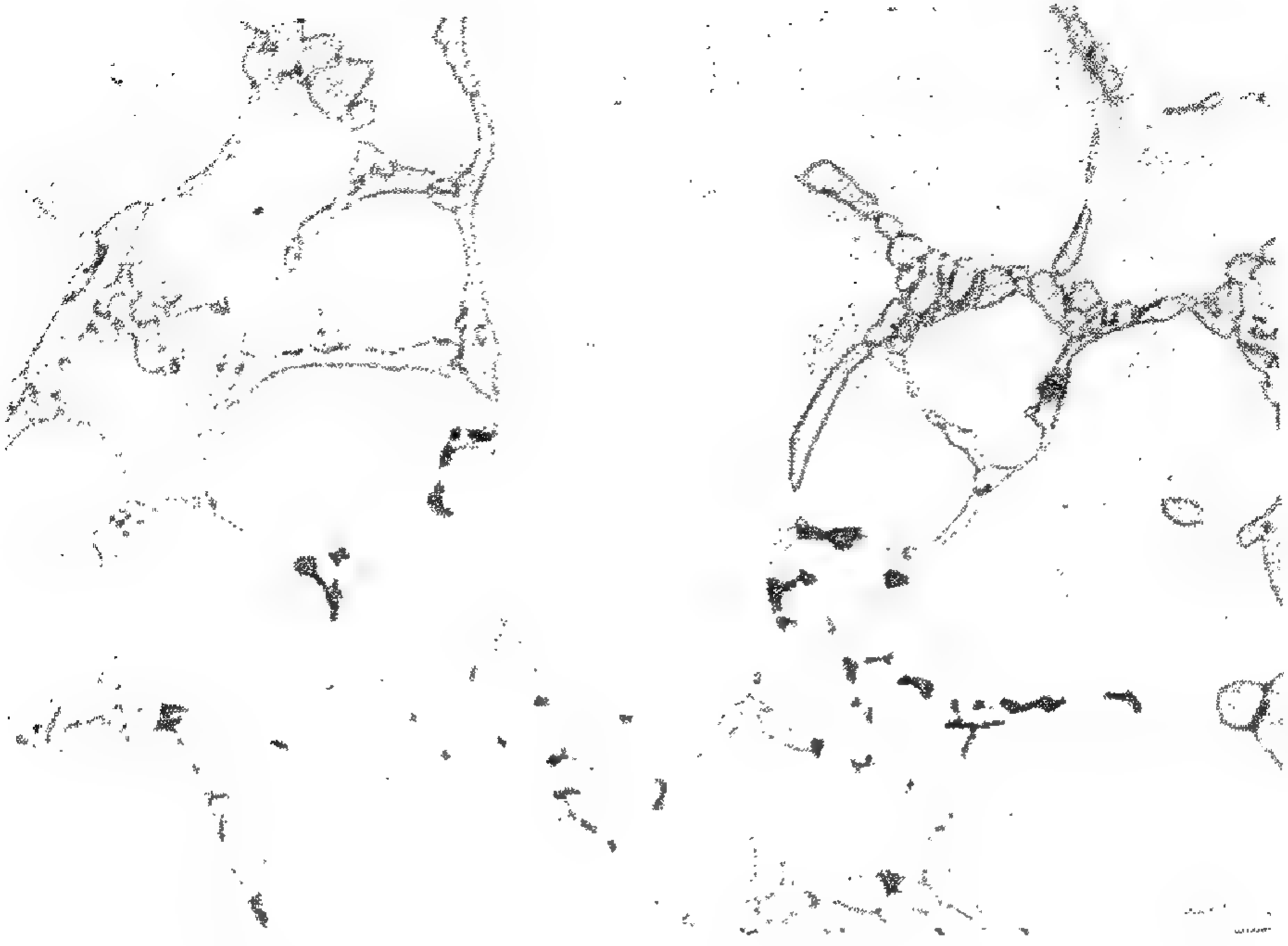
- ١ - يجب ألا يبدأ الترسيب بالمعاملة الحرارية حتى ٢٤ ساعة على الأقل بعد إتمام تدوير المكونات في محلول جامد .
- ٢ - يستخدم الماء الساخن لتسقية المطروقات الثقيلة .

خامساً - وزن التثريب الحرارى

للمحمول على محلول من المكونات للمطروقات (الوزن بالساعة)			لتكوين محلول من المكونات لتتجات السباتك القابلة للتشكيل « باستثناء المطروقات » (الوزن بالدقيقة)				
السبك أكثر من ٥ سم	السبك حتى ٥ سم	السيكة	السبك أكثر من ٢٥ سم	السبك ٢٥-٣١٥ سم	السبك ٣١٥-٣٥٠ سم	السبك حتى ٣٥٠ سم	السيكة
١٢ - ٢	٢ - ١	٤	٦٠	٢٠	-	-	٤
١٢ - ٢	٢ - ١	٢	٦٠	٢٠	٢٠	٢٠	٦
١٢ - ٢	٢ - ١	٧	٦٠	٢٠	٢٠	٢٠	٨
١٢ - ٢	٢ - ١	٩	٦٠	٤٠	٢٠	٢٠	٨ مكينة بسيكة ١
١٢ - ٢	٢ - ١	١٠	٦٠	٤٠	٢٠	٢٠	١٢
١٢ - ٢	٢ - ١	١١	٦٠	٤٠	٢٠	٢٠	١٥
١٢ - ٢	٢ - ١	١٢	٦٠	٤٠	٢٠	٢٠	٥
١٢ - ٢	٢ - ١	١٧	٦٠	٤٠	٢٠	٢٠	١٧
١٢ - ٢	٢ - ١	٢	٦٠	٤٠	٢٠	٢٠	٢

الملحق (٦)

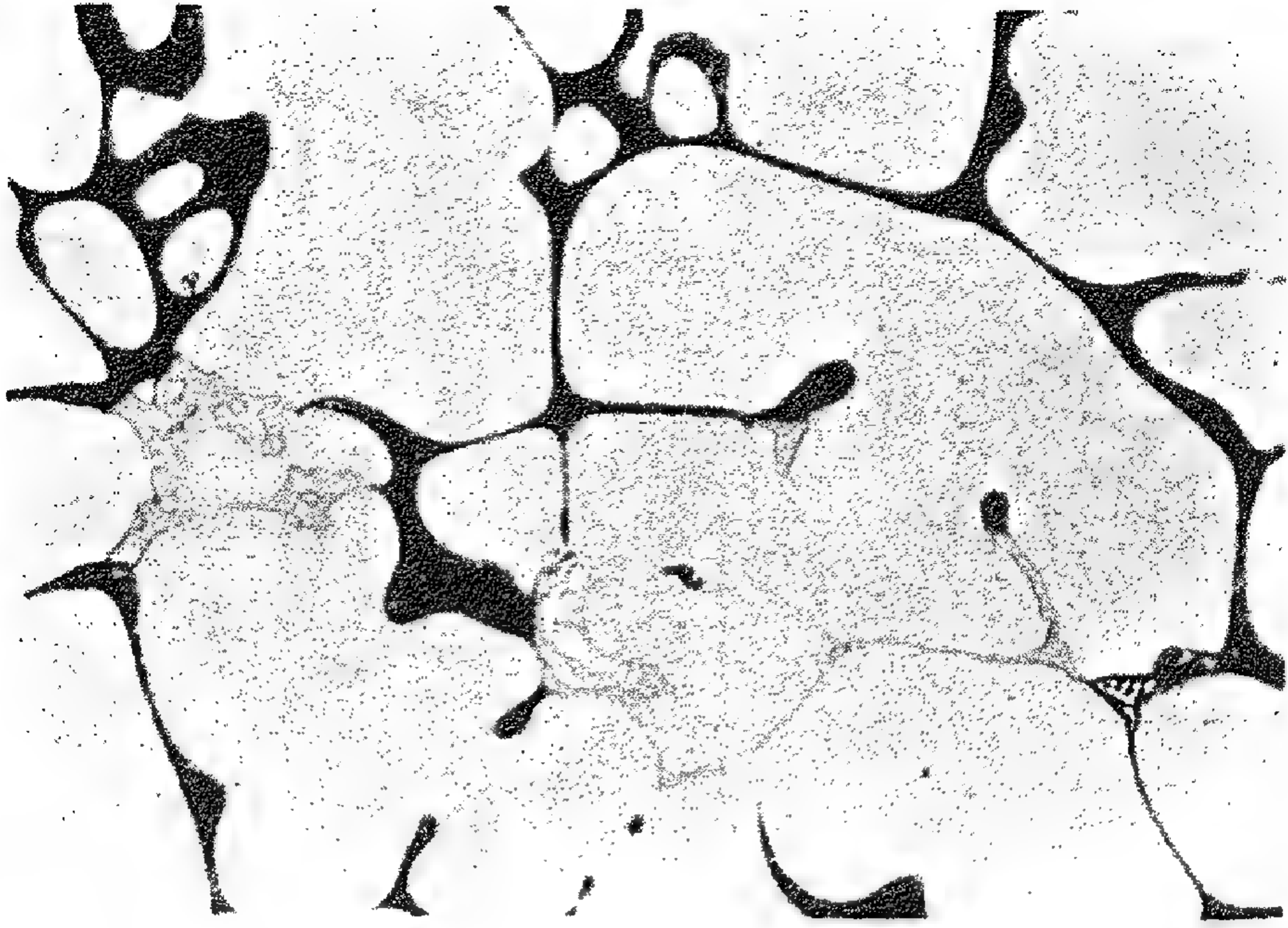
فحص مجهرى لبعض عينات من سبائك الألومنيوم



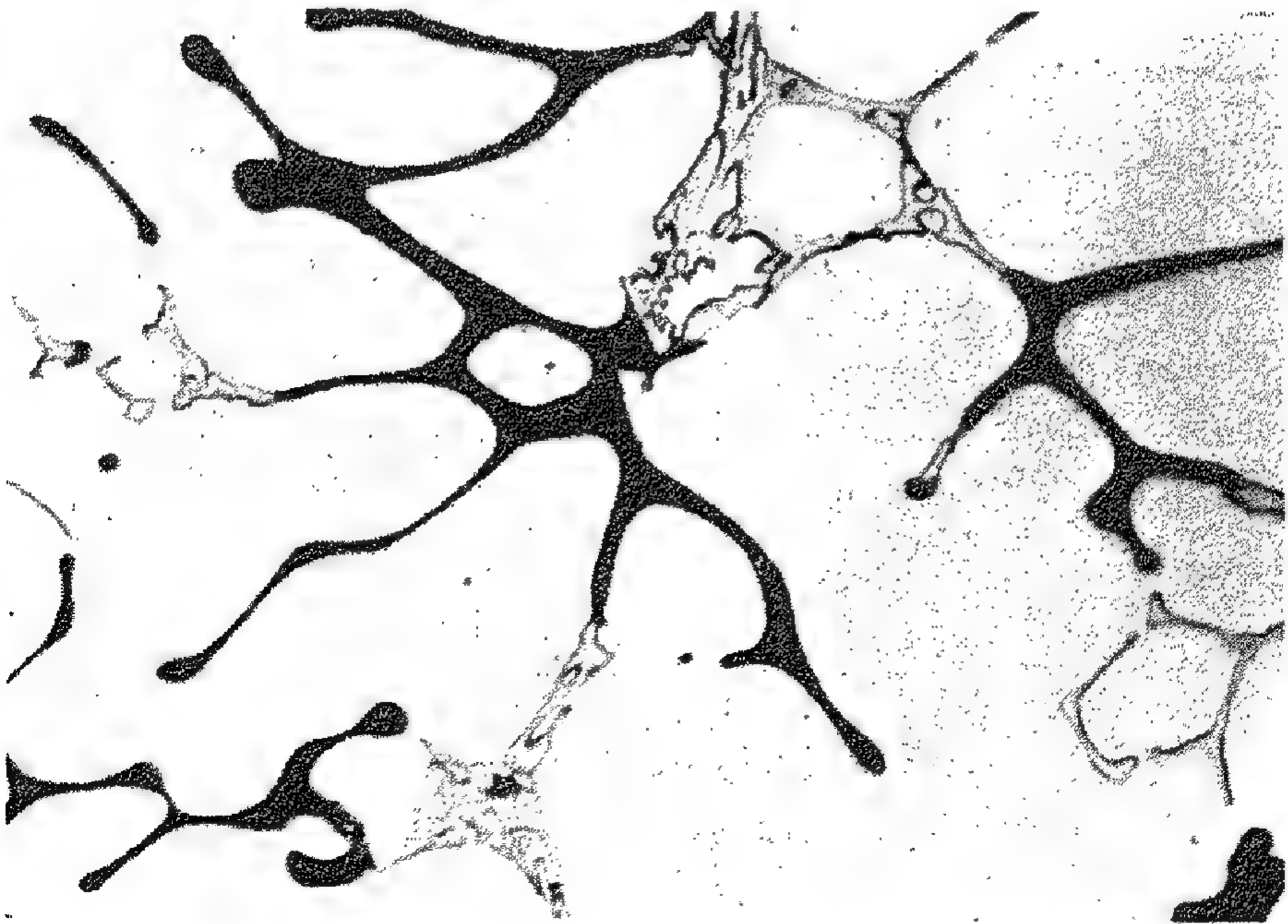
الشكل ١ : تركيب بنياني يشبه تركيب المصبوبات (المسبوكات) ، تكون بفعل التبريد السريع بطريق الصب المباشر لسبيكة الألومنيوم ٤ ح ، ويتضح في العينة المجهرية المكونات المختلفة في توزيع غير منتظم . (غير منمش) .



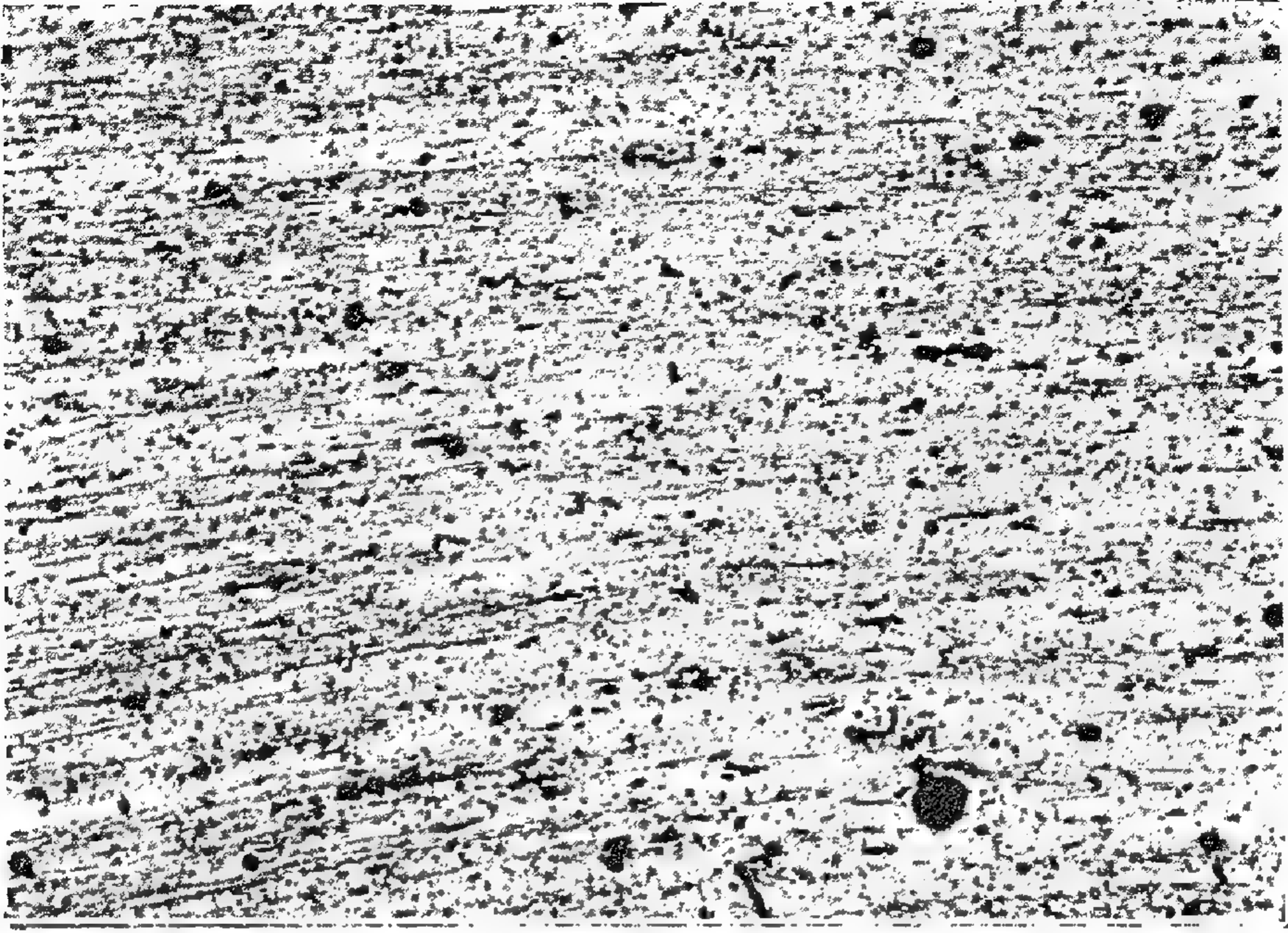
الشكل ٢ : تركيب بنياني يشبه تركيب المصبوبات (المسبوكات) ، تكون بفعل التبريد السريع بطرق الصب المباشر لسبيكة الألومنيوم ٤ ح ، ويتضح في العينة التوزيع غير المنتظم لمكوناتها . منمشة بحمض الكبريتيك ٢٠٪ .



الشكل ٣ : تركيب بنياني يشبه تركيب المصبوبات (المسبوكات) ، تكون بفعل التبريد السريع بطرق الصب المباشر لسبيكة الألومنيوم ٨ ٥ ، ويتضح في العينة المكونات المختلفة في توزيع غير منتظم (غير منمّش) .



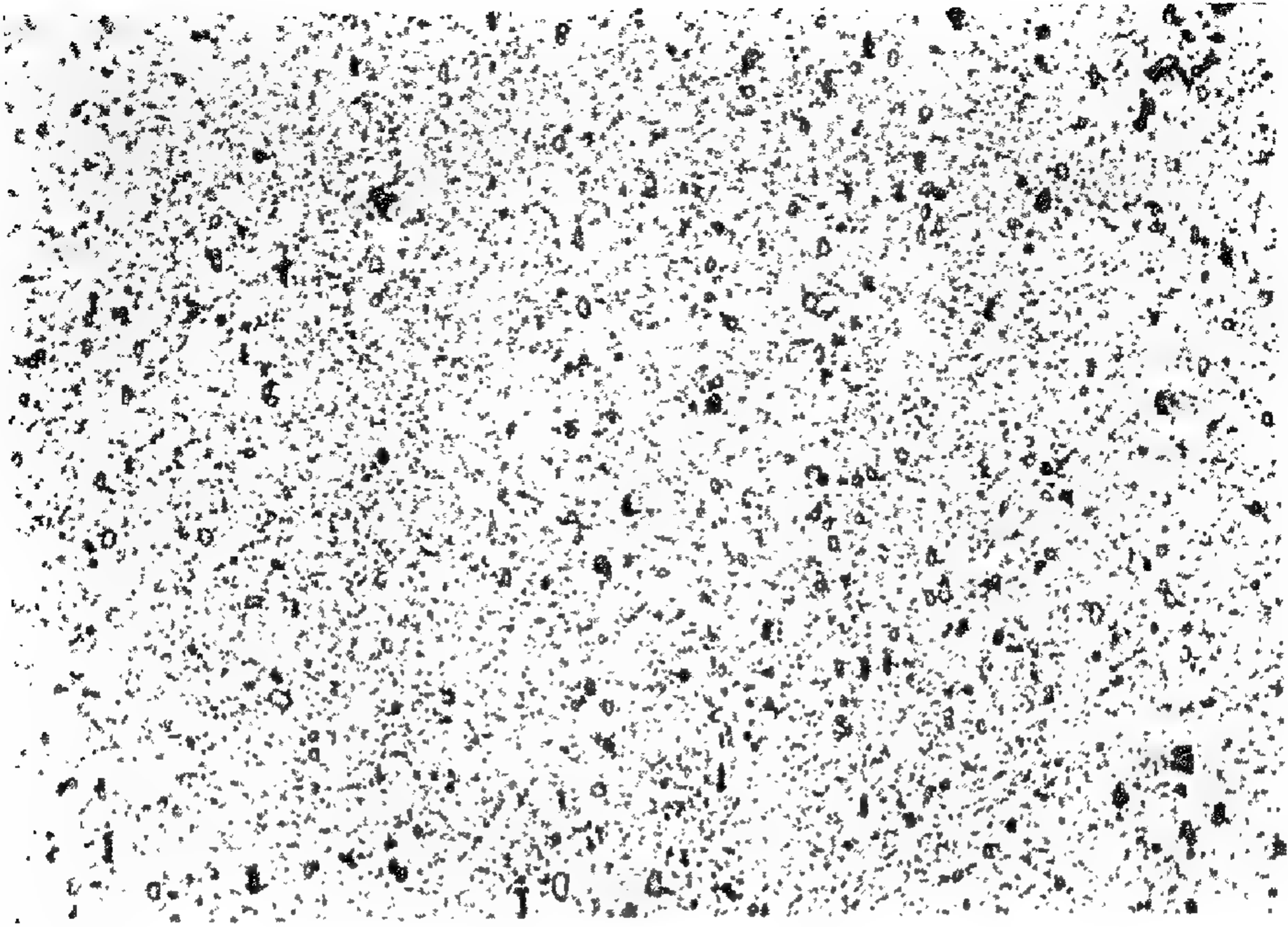
الشكل ٤ : تركيب بنياني يشبه تركيب المصبوبات (المسبوكات) ، تكون بفعل التبريد السريع بطرق الصب المباشر لسبيكة الألومنيوم ٨ ٥ ، ويتضح في العينة المكونات المختلفة في توزيع غير منتظم . منمّشة بييدروكسيد الصوديوم ١٠٪ .



الشكل ٥ : التركيب البنياني لعينة من سبيكة الألومنيوم (ب) بعد درفلتها ، منمشة بحمض الهيدروكلوريك والهيدروفلوريك .



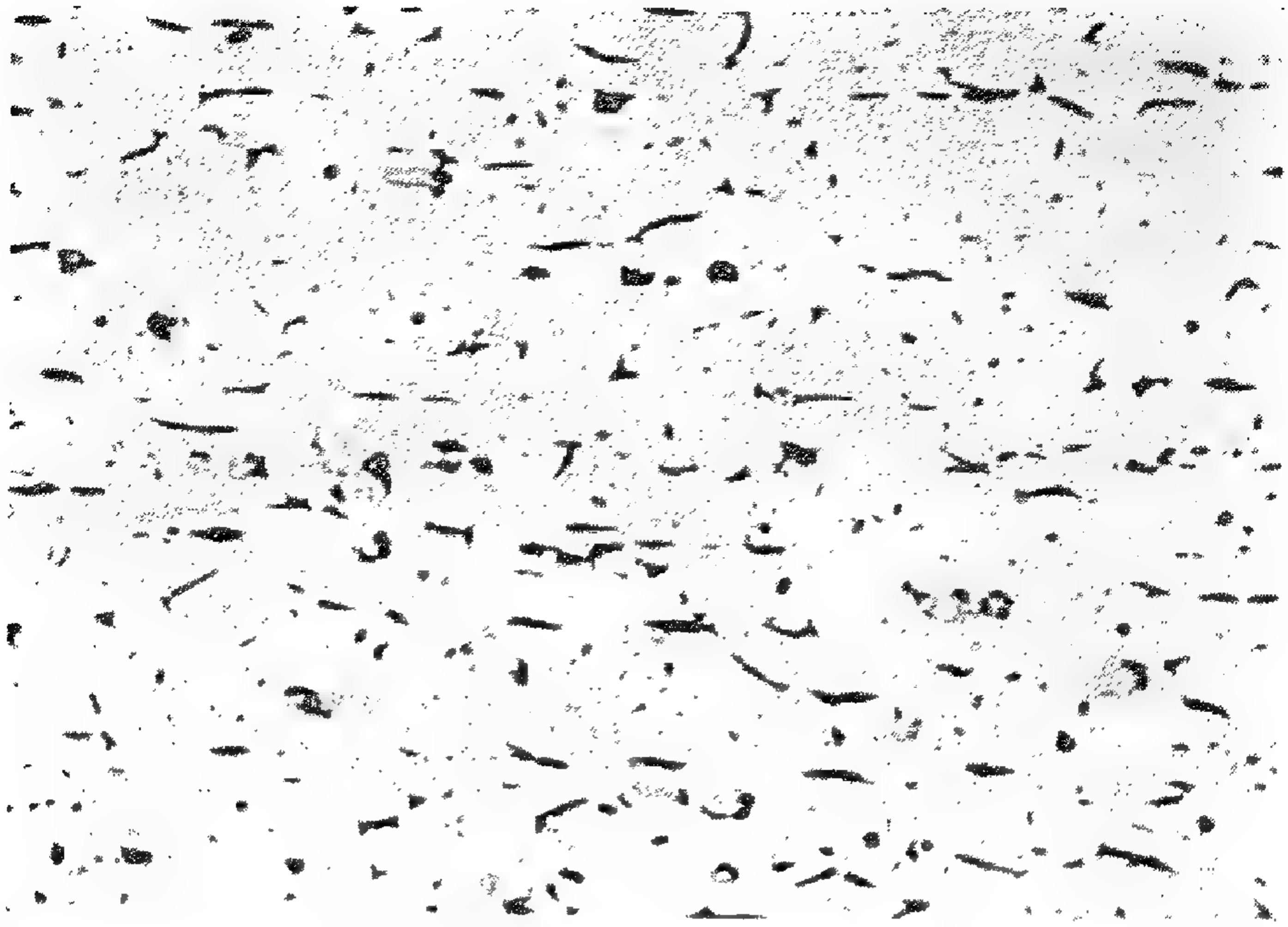
الشكل ٦ : التركيب البنياني لعينة من سبيكة الألومنيوم (ب) بعد تلدينها (تخميرها) . منمشة بحمض الهيدروكلوريك والهيدروفلوريك .



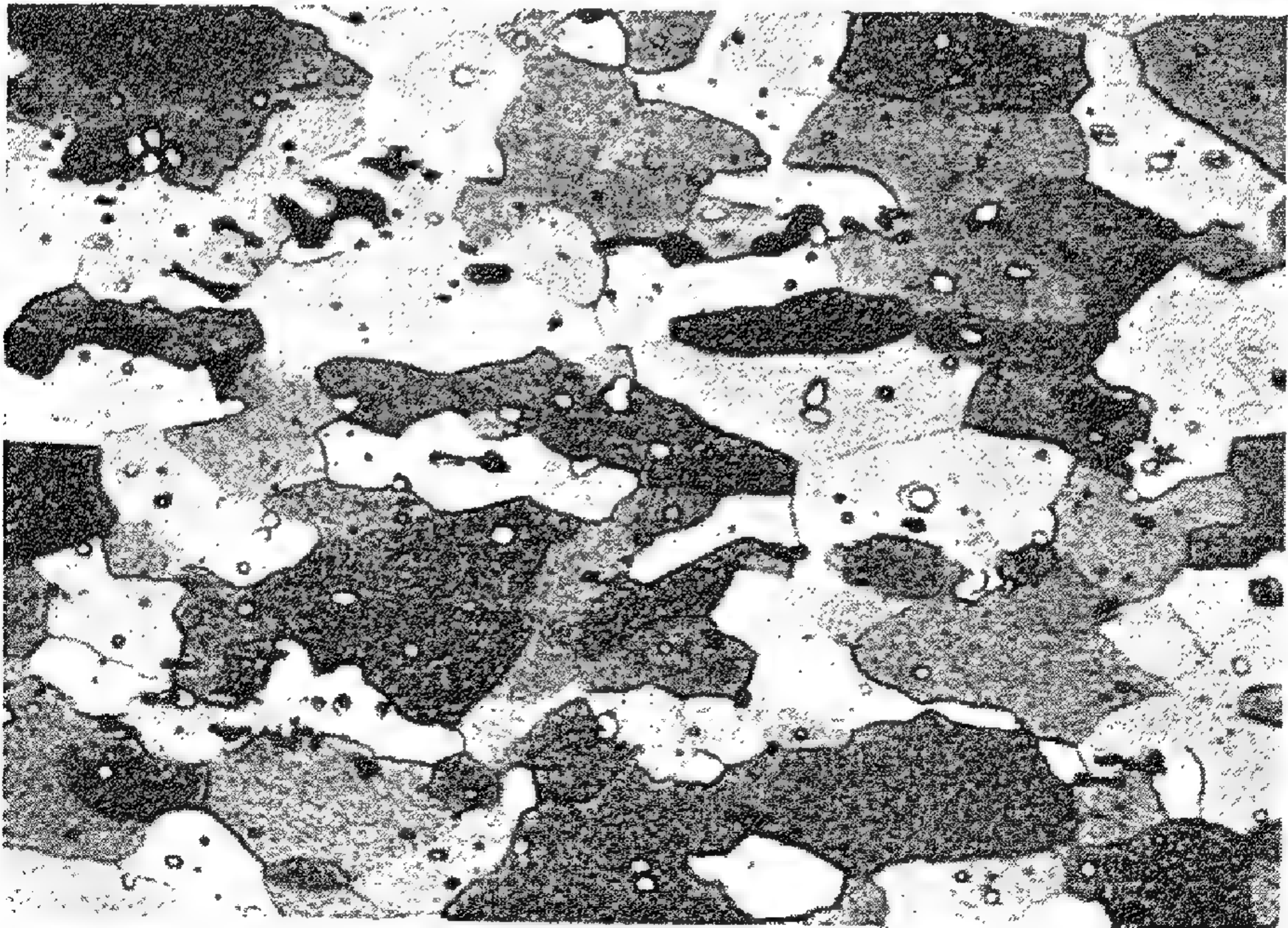
الشكل ٧ : المظهر المجهرى لعينة من سبيكة الألومنيوم ٨ ج مكسية بطبقة أ وتم تلدينها بطريقة سليمة ، وفي هذه العينة يظهر المكون الدقيق ألومنييد النحاس ، وتوزيعه المنتظم خلال كل المقطع .



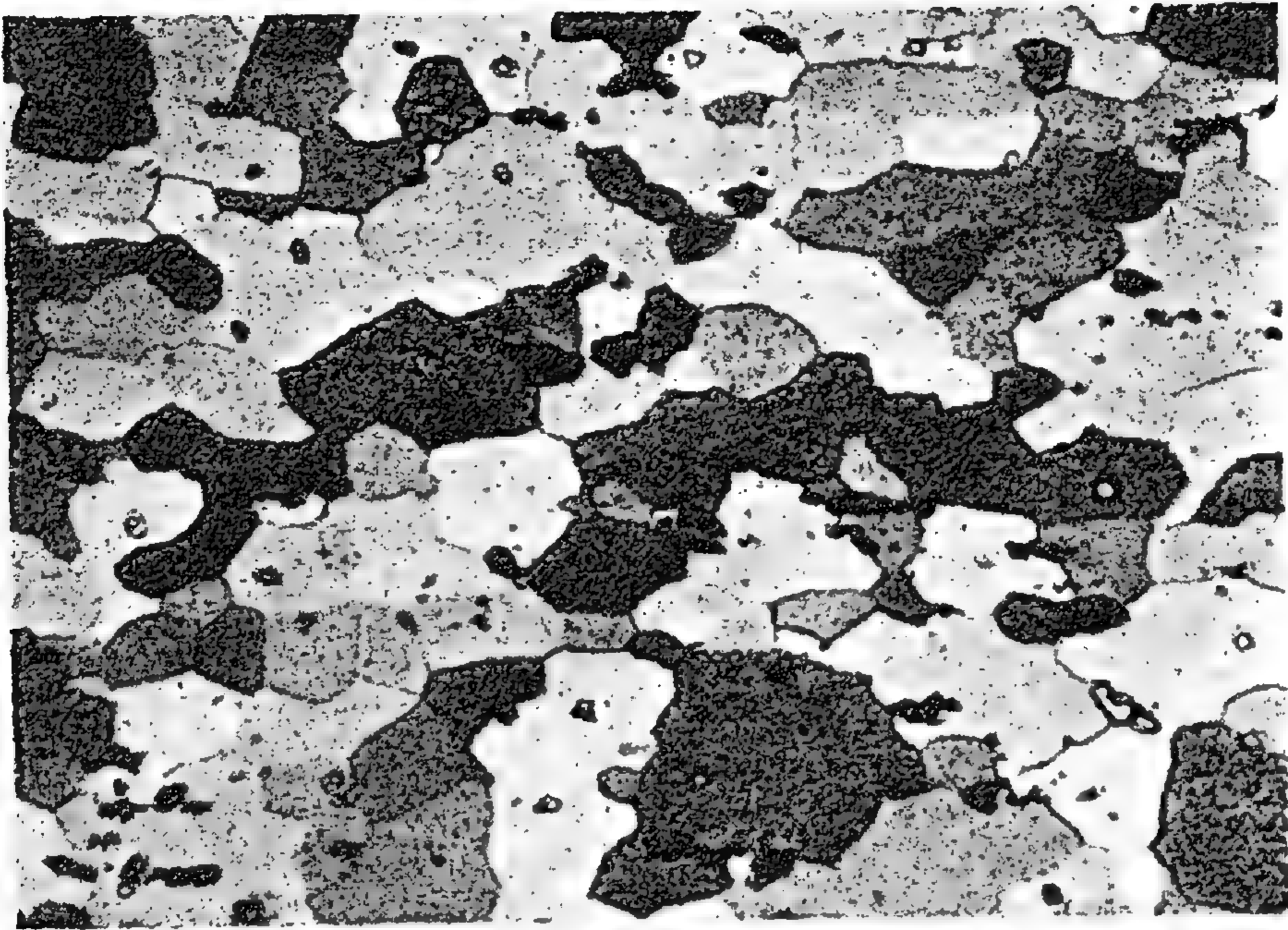
الشكل ٨ : المظهر المجهرى لعينة من سبيكة الألومنيوم ٨ ج مكسية بطبقة من الألومنيوم النق ، وتم تلدينها بطريقة غير سليمة ، ويرى بوضوح التوزيع الرديء للمكون ألومنييد النحاس . هذا التركيب ينتج عنه خواص تشكيلية غير جيدة .



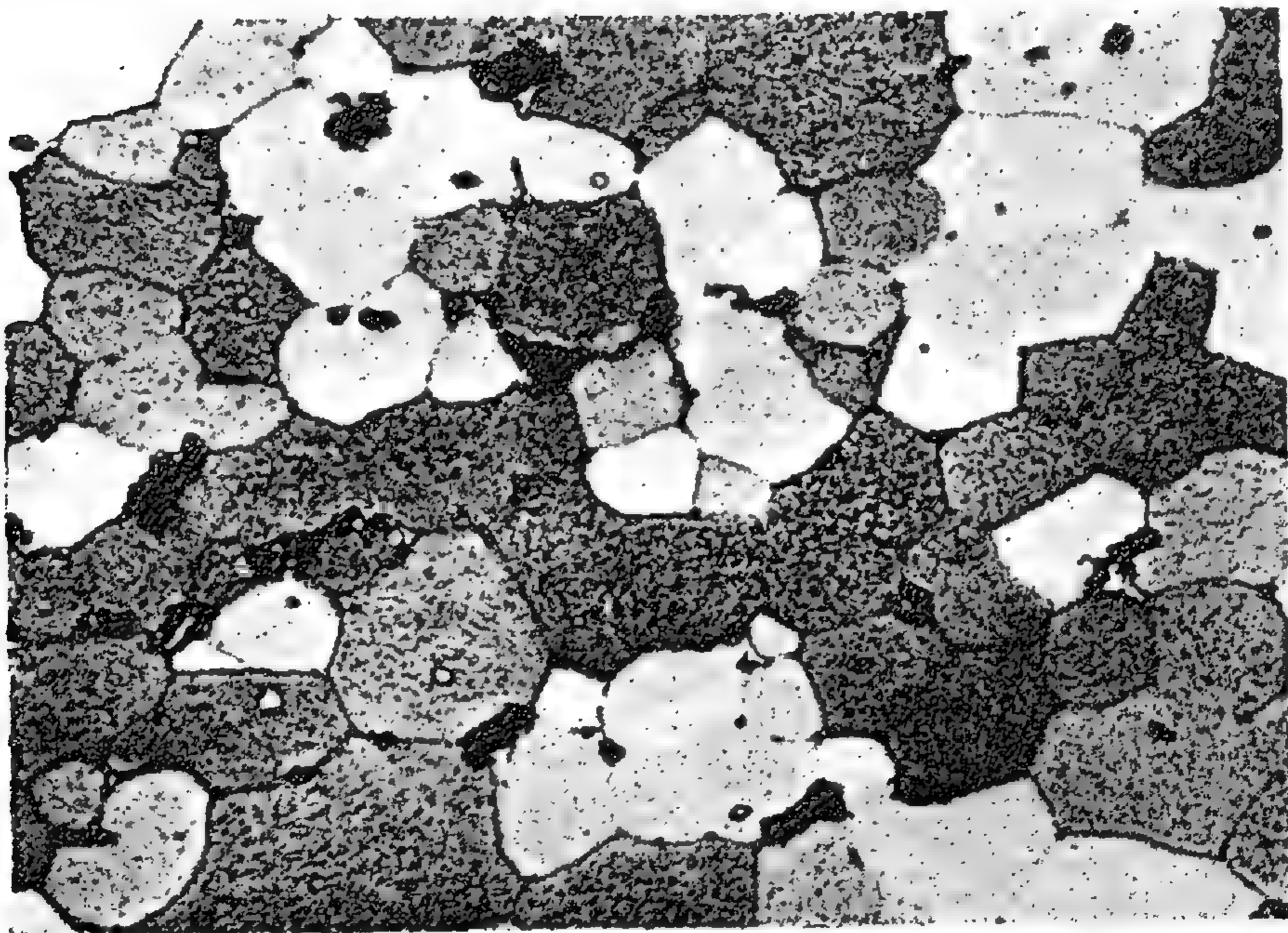
الشكل ٩ : عينة مجهرية لمقطع سبيكة الألومنيوم ٨ ج ، وفيها يتضح الترسيب خلال الحدود الحبيبية (الحدود الفاصلة بين الحبيبات) نتيجة للتسخين لدرجة حرارة عالية ، وتبريد بطيء خلال عمالة التلدين . منمشة بحمض الهيدروفلوريك ٥٠٪ .



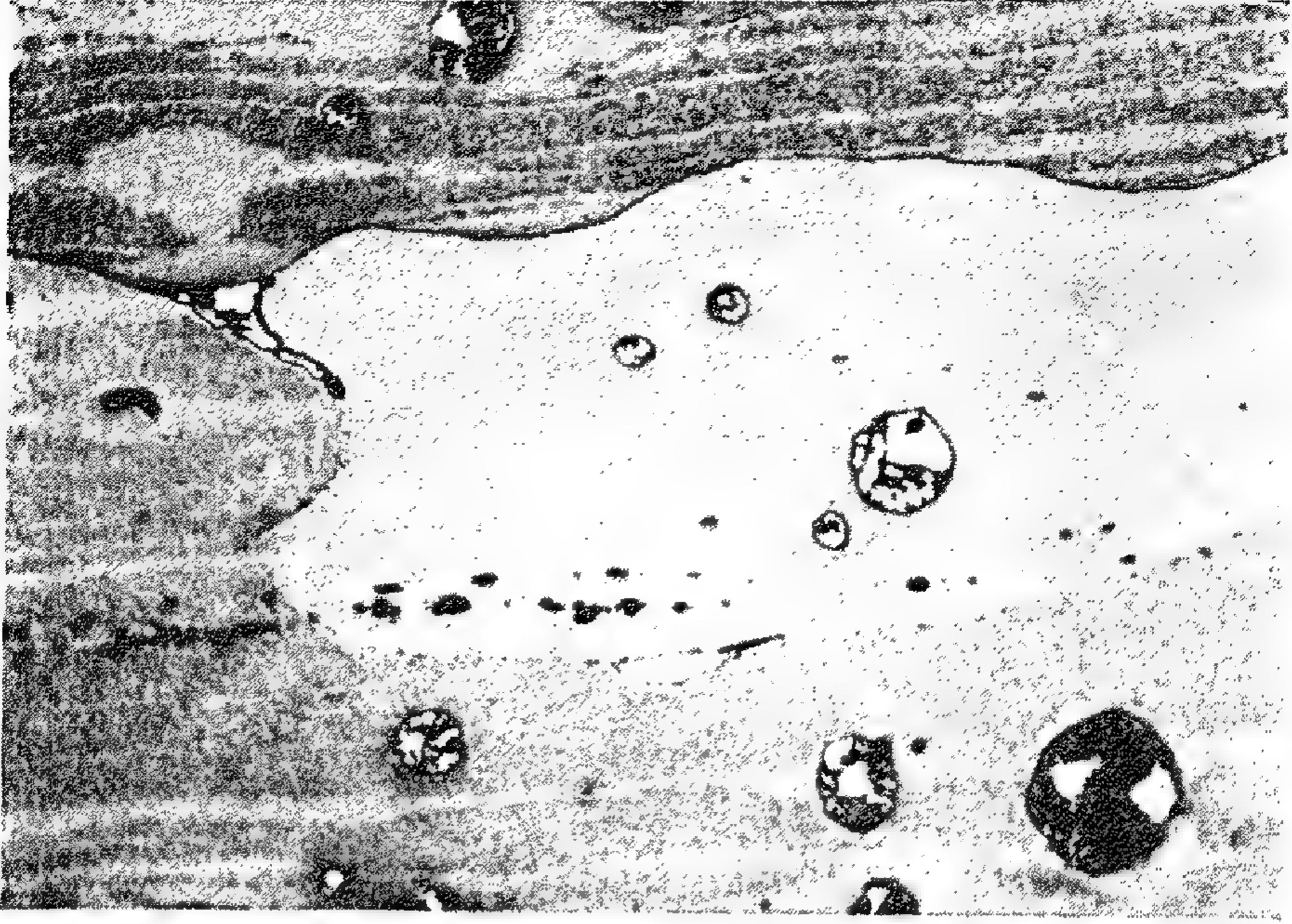
الشكل ١٠ : عينة مجهرية توضح التركيب البنائي لسبيكة الألومنيوم ٥ ج تمت معاملتها حراريا ، ويتضح من العينة عدم تداوب بعض المكونات (أساسا ألومنيوم النحاس) التي تظهر باللون الأبيض خارج المحلول في العينة المجهرية .



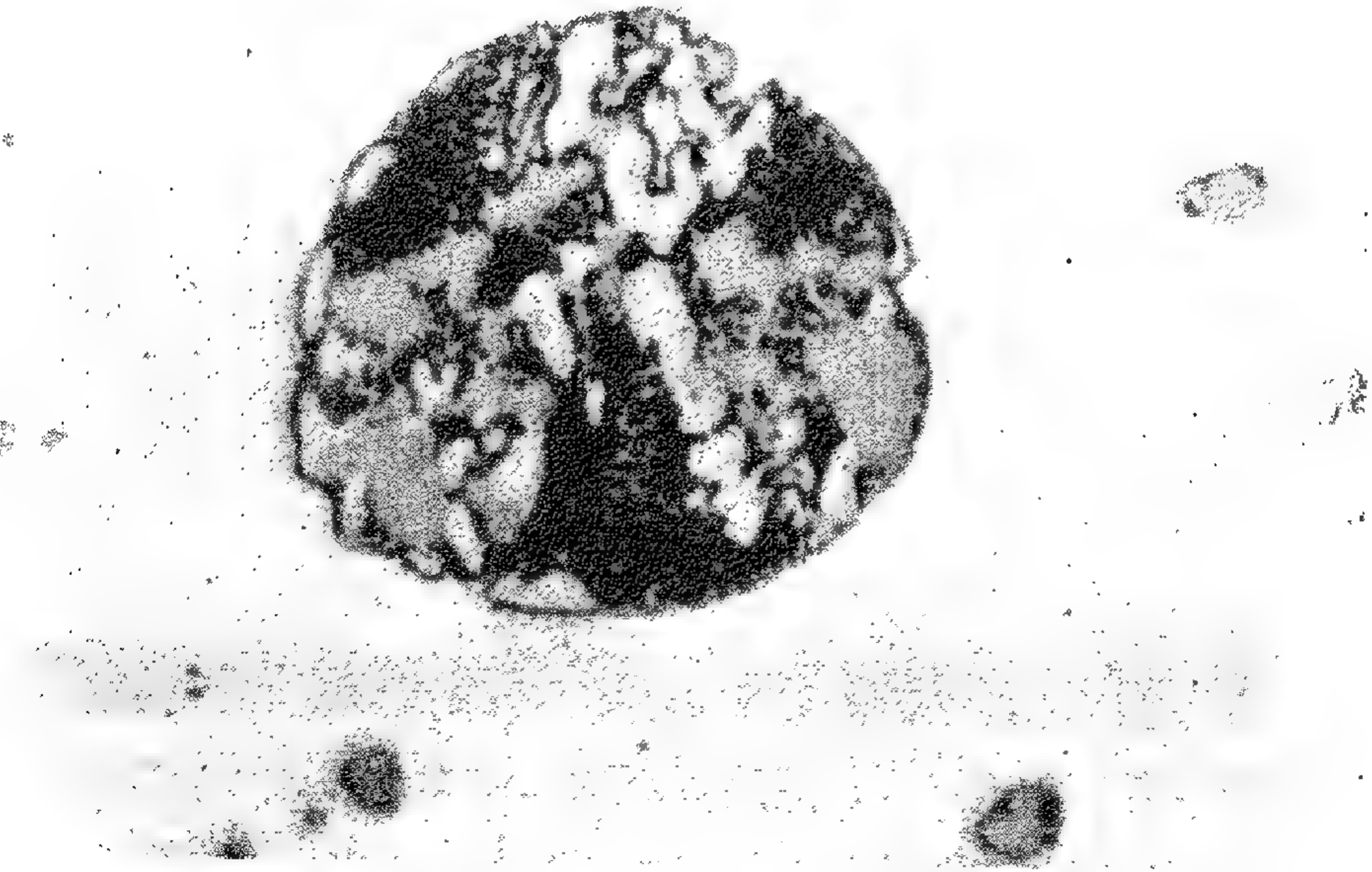
الشكل ١١ : عينة مجهرية لسبيكة هـ س ، بتركيب بنياني نمطي ، نتيجة لإجراء المعاملة الحرارية بطريقة سليمة .



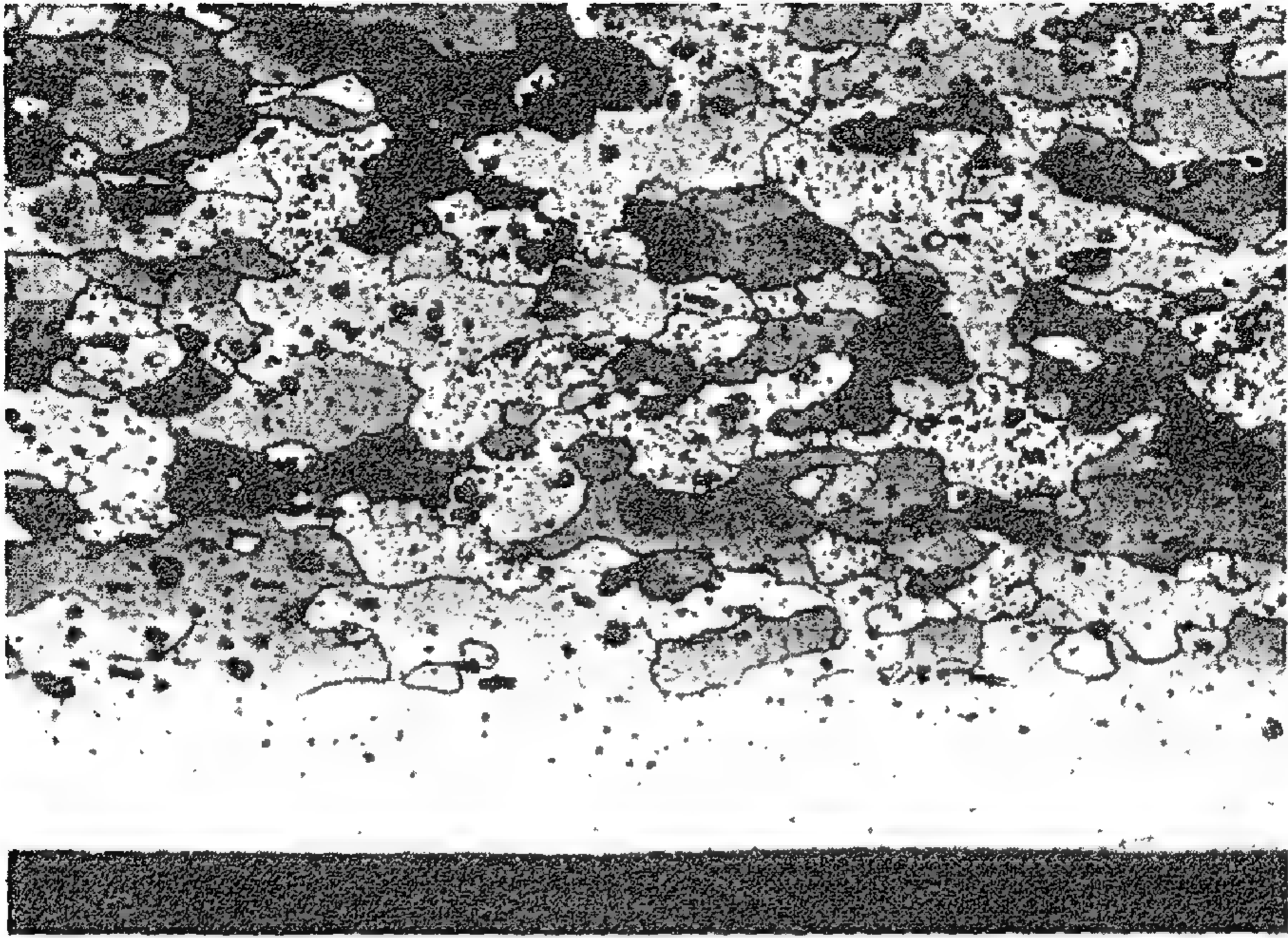
الشكل ١٢ : عينة مجهرية لسبيكة هـ س ، يتضح فيها التركيب البنياني نتيجة معاملتها حراريا بطريقة غير سليمة ، ويتضح في العينة بعض المناطق التي تعرضت للانصهار على الحدود الحبيبية نتيجة التعرض لدرجة حرارة عالية .



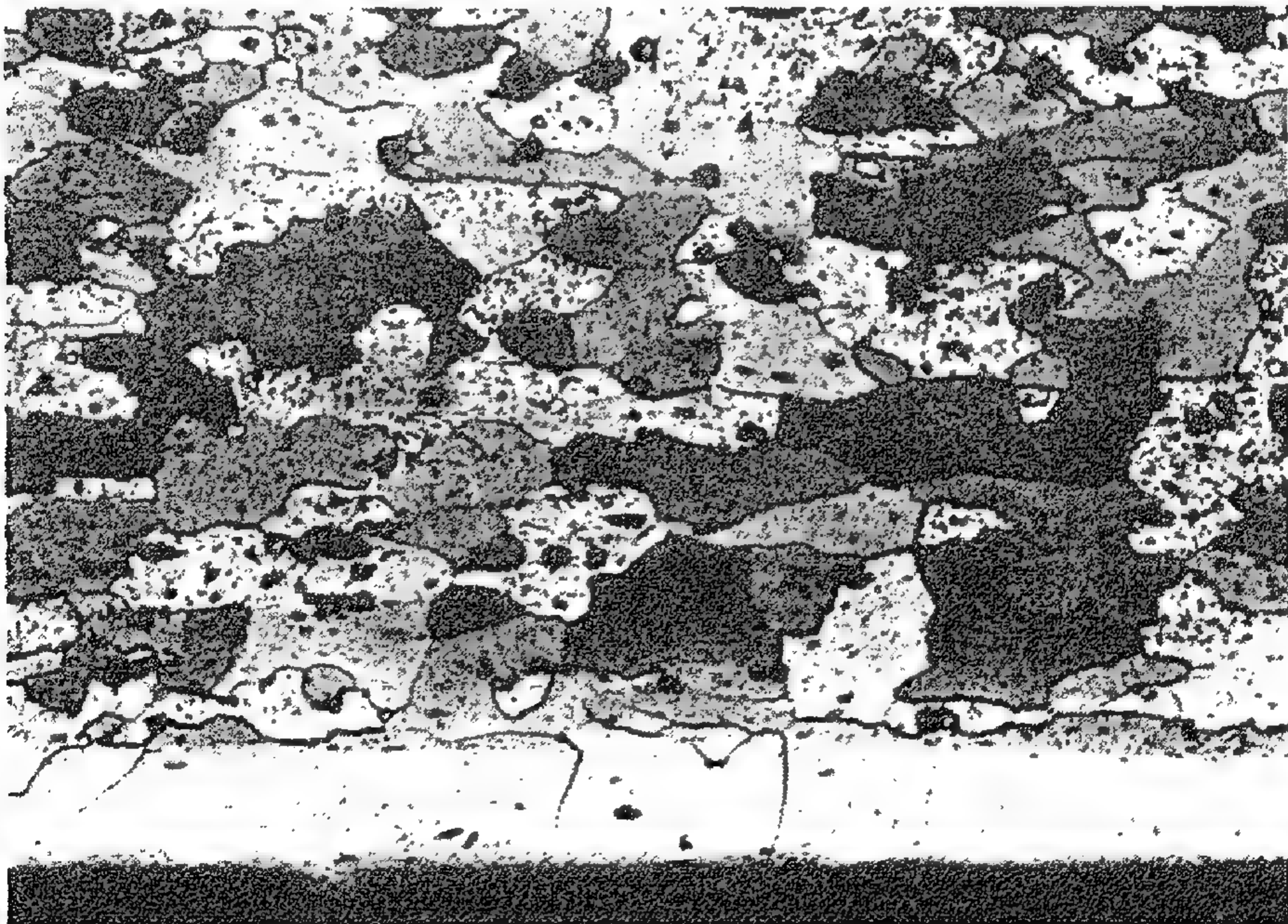
الشكل ١٣ : عينة مجهرية للسبيكة هـ ، عوملت حرارياً بطريقة خاطئة ، وفيها يتضح انصهار مناطق اليوتكتي ، وأيضاً خلال الحدود الحبيبية نتيجة التعرض لدرجة حرارة عالية .



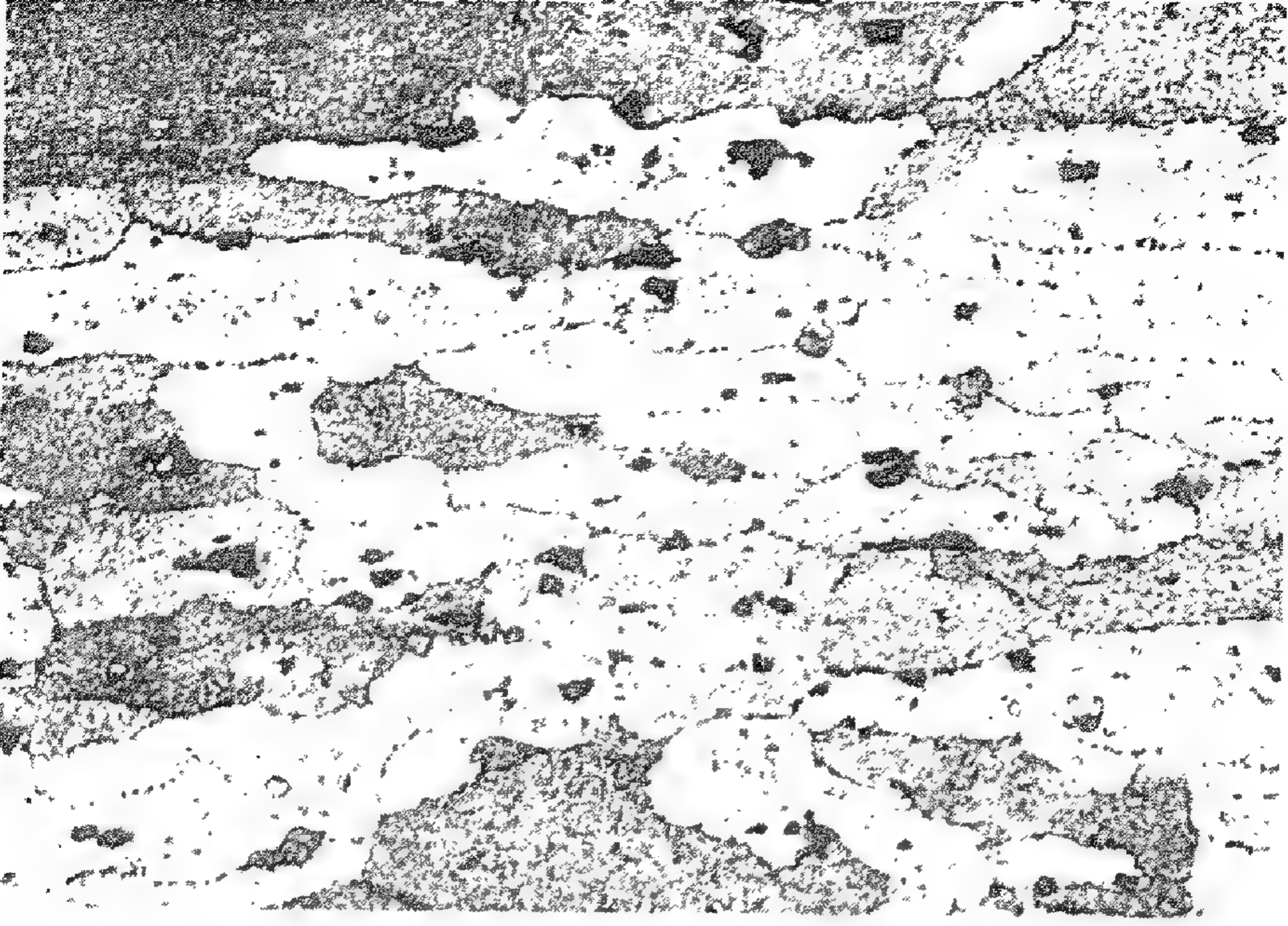
الشكل ١٤ : نفس العينة السابقة (السبيكة هـ) ، بعد تكبير الجزء الذي يحتوي على مناطق منصهرة نتيجة تعرضها لدرجة حرارة مفرطة أثناء المعاملة الحرارية .



الشكل ١٥ : انتشار كمية عادية من النحاس وغيره من المكونات الأخرى خلال طبقة الألومنيوم التي تغطي بها السبيكة (٨ ح) وتم ذلك نتيجة لمعاملة حرارية أجريت بطريقة سليمة.



الشكل ١٦ : انتشار العناصر السبكية كالنحاس وغيره من المكونات الأخرى ، يبلغ أقصاه خلال طبقة الألومنيوم النقية التي تغطي بها السبيكة ٨ ح .
وتسبب حفظ العينة تحت درجة حرارة المعاملة الحرارية لفترة طويلة في تكوين هذا التركيب البنائي غير المرغوب .



الشكل ١٧ : تركيب بنياني نتج عن تسقية السبيكة ٨ ح ، بعد إذابة مكوناتها في محلول متجانس . ويلاحظ في هذا التركيب اضمحاء التباين الشديد في حجم الحبيبات البلورية له وترسيب المكونات مع الحدود الحبيبية .



الشكل ١٨ : تركيب بنياني يوضح تأثير المعاملة الحرارية في فرن جوه غير مناسب ميتالورجيا ، حيث يحتوي على نواتج الاحتراق أو وجود بخار الماء بإفراط . عينة من السبيكة تأثرت بالتأكسد عند درجة حرارة عالية

الملحق (٧)

أوزان القطاعات الأساسية لمنتجات الألومنيوم

في الجداول التالية ، اتخذت الكثافة ٢,٧ جم/سم^٣ ، وهي متوسط كثافة الألومنيوم النقي والألومنيوم النقي تجاريا ، أساسا للأوزان .

ونظرا لوجود تباين في كثافة سبائك الألومنيوم المختلفة ، نتيجة للتغير في نوعية وكمية الإضافات السبكية ، مما يؤدي إلى وجود اختلافات في الأوزان ، لذلك فن المهم الرجوع إلى الجدول التالي الذي يضم السبائك التشكيلية الواردة في هذا الكتاب ، وهي سبائك المجموعة (ج) ، وأمام كل سبيكة منها معامل حسابي هو النسبة بين الكثافة تلك السبيكة إلى الكثافة ٢,٧ . وبضرب هذا المعامل في الوزن المدون بالجدول أي قرين قطاع بعينه ، نحصل على وزن هذا القطاع إذا كان مصنوعا من السبيكة المناظرة . ويتراوح المعامل الحسابي بين ٠,٩٩٢ الذي يناظر الكثافة ٢,٦٨ للسبيكة (١٢ ج) ، وبين ١,٠٤٤ الذي يناظر الكثافة ٢,٨٢ للسبكتين (٢ ج) ، (١٧ ج) .

السبيكة	الكثافة	المعامل الحسابي	السبيكة	الكثافة	المعامل الحسابي
١ ج	٢,٧٣	١,٠١١	١٠ ج	٢,٦٩	٠,٩٩٦
٢ ج	٢,٨٢	١,٠٤٤	١١ ج	٢,٦٩	٠,٩٩٦
٣ ج	٢,٨١	١,٠٤٠	١٢ ج	٢,٦٨	٠,٩٩٣
٤ ج	٢,٨	١,٠٣٧	١٣ ج	٢,٦٩	٠,٩٩٦
٥ ج	٢,٧٨	١,٠٢٩	١٤ ج	٢,٦٤	٠,٩٧٨
٦ ج	٢,٧٩	١,٠٣٣	١٥ ج	٢,٧	١,٠٠٠
٧ ج	٢,٨	١,٠٣٧	١٦ ج	٢,٨	١,٠٣٧
٨ ج	٢,٧٧	١,٠٢٦	١٧ ج	٢,٨٢	١,٠٤٤
٩ ج	٢,٧٩	١,٠٣٣			

الشرائط والألواح

الجدول (أ)

السلك	وزن وحدة المساحات كجم / متر ^٢	مساحة وحدة الأوزان متر ^٢ / كجم
١	٠,٠٠٢٧	٣٧٠,٤
٢	٠,٠٠٥٤	١٨٥,٢
٣	٠,٠٠٨١	١٢٣,٤٥
٤	٠,٠١٠٨	٩٢,٦
٥	٠,٠١٣٥	٧٤,٠٨
٦	٠,٠١٦٢	٦١,٧٣
٧	٠,٠١٨٩	٥٢,٩١
٨	٠,٠٢١٦	٤٦,٣٠
٩	٠,٠٢٤٣	٤١,١٥
١٠	٠,٠٢٧٠	٣٧,٠٤
١٢	٠,٠٣٢٤	٣٠,٨٦
١٤	٠,٠٣٧٨	٢٦,٤٦
١٦	٠,٠٤٣٢	٢٣,١٥
١٨	٠,٠٤٨٦	٢٠,٥٨
٢٠	٠,٠٥٤٠	١٨,٥٢
٣٠	٠,٠٨١٠	١٢,٣٥
٤٠	٠,١٠٨٠	٩,٢٦
٥٠	٠,١٣٥٠	٧,٤١
٦٠	٠,١٦٢٠	٦,١٧
٧٠	٠,١٨٩٠	٥,٢٩
٨٠	٠,٢١٦٠	٤,٦٣
٩٠	٠,٢٤٣٠	٤,١٣
١٠٠	٠,٢٧٠٠	٣,٧٠
١٥٠	٠,٤٠٥٠	٢,٤٧
٢٠٠	٠,٥٤٠٠	١,٨٥

$$١ \text{ سم}^٢ \equiv ٢,٧ \text{ جرام}$$

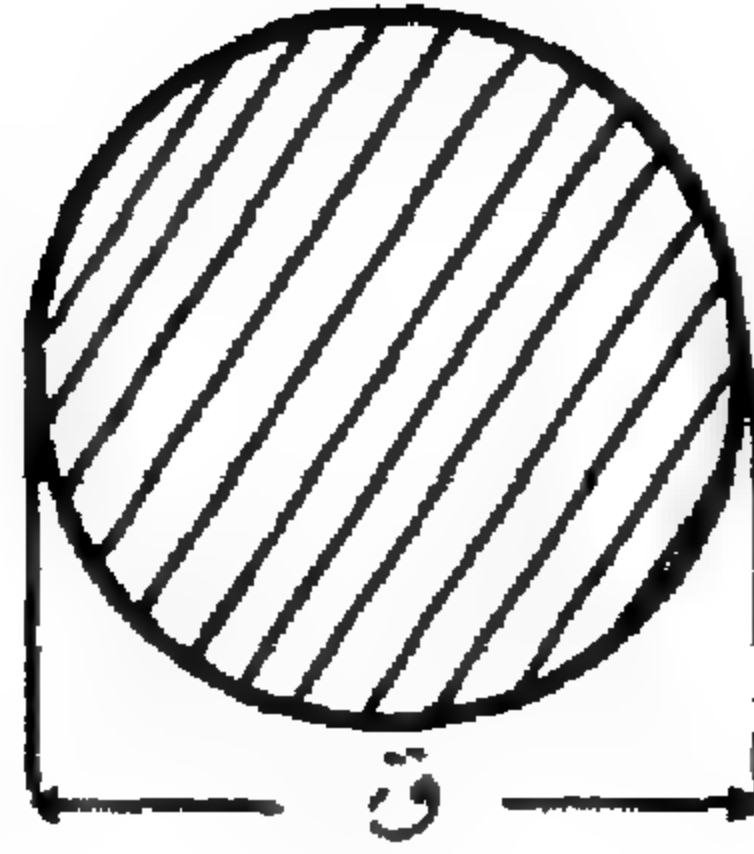
$$١ \text{ جرام} \equiv ٠,٣٧٠٤ \text{ سم}^٢$$

- ١ - أدرج السلك بوحدات الميكرون في الجدول (أ) والجدول (ب) حتى الخط الأفقى الفاصل ، ثم أدرج في باقى الجدول (ب) بالمليمترات .
- ٢ - حسب المساحة لوحدة الأوزان فى الجدول (أ) بالمتر المربع ، بينما حسب فى الجدول المربع (ب) بالديسمتر .

الجدول (ب)

السلك *	وزن وحدة المساحات كجم/متر ^٢	مساحة وحدة الأوزان ديسمتر مربع/كجم
٢٥٠	٠,٦٧٥٠	١٤٨,١٥
٣٠٠	٠,٨١٠٠	١٢٣,٤٧
٤٠٠	١,٠٨٠٠	٩٢,٦
٥٠٠	١,٣٥٠٠	٧٤,٠٨
٦٠٠	١,٦٢٠٠	٦١,٧٣
٧٠٠	١,٨٩٠٠	٥٢,٩١
٨٠٠	٢,١٦٠٠	٤٦,٣
٩٠٠	٢,٤٣٠٠	٤١,١٦
١ ملليمتر	٢,٧٠٠٠	٣٧,٠٠
٢	٥,٤٠٠٠	١٨,٥٠
٣	٨,١٠٠٠	١٢,٣٥
٤	١٠,٨٠٠٠	٩,٢٦
٥	١٣,٥٠٠٠	٧,٤١
٦	١٦,٢	٦,١٧
٧	١٨,٩	٥,٢٩
٨	٢١,٦	٤,٦٣
٩	٢٤,٣	٤,١٢
١٠	٢٧,٠	٣,٧
١٢	٣٢,٤	٣,٠٨٦
١٤	٣٧,٨	٢,٦٤٦
١٦	٤٣,٢	٢,٣١٥
١٨	٤٨,٦	٢,٠٥٨
٢٠	٥٤,٠	١,٨٥٢
٢٢	٥٩,٤	١,٦٨٤
٢٤	٦٤,٨	١,٥٤٣

الأسياخ المستديرة



القطر (ق) (م)	مساحة المقطع (م ²)	وزن وحدة الأطوال (كجم / متر)
١	٠,٧٨٥	٠,٠٠٢١٢
١,٢	١,١٣١	٠,٠٠٣٠٥
١,٥	١,٧٦٧	٠,٠٠٤٧٧
١,٨	٢,٥٤٥	٠,٠٠٦٨٧
٢	٣,١٤٢	٠,٠٠٨٤٨
٢,١	٣,٤٦٤	٠,٠٠٩٣٥
٢,٢	٣,٨٠١	٠,٠١٠٣
٢,٣	٤,١٥٥	٠,٠١١٢
٢,٤	٤,٥٢٤	٠,٠١٢٢
٢,٥	٤,٩٠٩	٠,٠١٣٣
٢,٦	٥,٣٠٩	٠,٠١٤٣
٢,٧	٥,٧٣٦	٠,٠١٥٥
٢,٨	٦,١٥٨	٠,٠١٦٦
٢,٩	٦,٦٠٥	٠,٠١٧٨
٣	٧,٠٦٩	٠,٠١٩١
٣,٢	٨,٠٤٢	٠,٠٢١٧
٣,٥	٩,٦٢١	٠,٠٢٦٠

(تابع) الأسياخ المستديرة

القطر (ق) (مم)	مساحة المقطع (مم ²)	وزن وحدة الأطوال (كجم / متر)
٣,٨	١١,٣٤	٠,٠٣٠٦
٤	١٢,٥٧	٠,٠٣٣٩
٤,٢	١٣,٨٥	٠,٠٣٧٤
٤,٥	١٥,٩٠	٠,٠٤٢٩
٤,٨	١٨,١٠	٠,٠٤٨٩
٥	١٩,٦٣	٠,٠٥٣٠
٥,٥	٢٣,٧٦	٠,٠٦٤١
٦	٢٨,٢٧	٠,٠٧٦٣
٦,٥	٣٣,١٨	٠,٠٨٩٦
٧	٣٨,٤٨	٠,١٠٤
٧,٥	٤٤,١٨	٠,١١٩
٨	٥٠,٢٧	٠,١٣٦
٨,٥	٥٦,٧٥	٠,١٥٣
٩	٦٣,٦٢	٠,١٧٢
٩,٥	٧٠,٨٨	٠,١٩١
١٠	٧٨,٥٤	٠,٢١٢
١٠,٥	٨٦,٥٩	٠,٢٣٤
١١	٩٥,٠٣	٠,٢٥٧
١١,٥	١٠٣,٩	٠,٢٨٠
١٢	١١٣,١	٠,٣٠٥
١٢,٥	١٢٢,٧	٠,٣٣١
١٣	١٣٢,٧	٠,٣٥٨
١٣,٥	١٤٣,١	٠,٣٨٦
١٤	١٥٣,٩	٠,٤١٦
١٤,٥	١٦٥,١	٠,٤٤٦

(تابع) الأسياخ المستديرة

القطر (ق) (مم)	مساحة المقطع (مم ²)	وزن وحدة الأطوال (كجم / متر)
١٥	١٧٦,٧	٠,٤٧٧
١٥,٥	١٨٨,٧	٠,٥٠٩
١٦	٢٠١,١	٠,٥٤٣
١٦,٥	٢١٣,٨	٠,٥٧٧
١٧	٢٢٧,٠	٠,٦١٣
١٧,٥	٢٤٠,٥	٠,٦٤٩
١٨	٢٥٤,٥	٠,٦٨٧
١٩	٢٨٣,٥	٠,٧٦٦
٢٠	٣١٤,٢	٠,٨٤٨
٢١	٣٤٦,٤	٠,٩٣٥
٢٢	٣٨٠,١	١,٠٣
٢٣	٤١٥,٥	١,١٢
٢٤	٤٥٢,٤	١,٢٢
٢٥	٤٩٠,٩	١,٣٣
٢٦	٥٣٠,٩	١,٤٣
٢٧	٥٧٢,٦	١,٥٥
٢٨	٦١٥,٨	١,٦٦
٢٩	٦٦٠,٥	١,٧٨
٣٠	٧٠٦,٩	١,٩١
٣٢	٨٠٤,٢	٢,١٧
٣٣	٨٥٥,٣	٢,٣١
٣٤	٩٠٧,٩	٢,٤٥
٣٥	٩٦٢,١	٢,٦٠
٣٦	١٠١٨	٢,٧٠
٣٨	١١٣٤	٣,٠٦

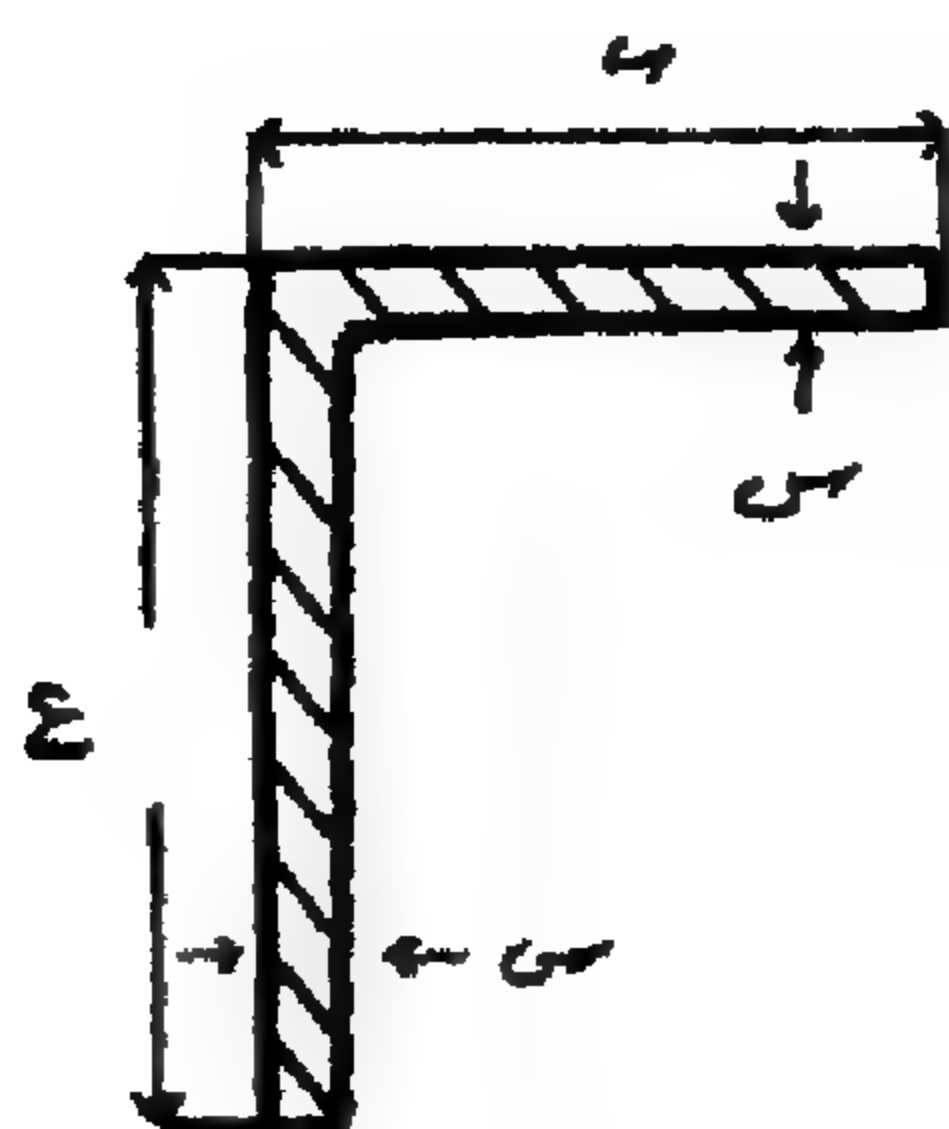
(تابع) الأسياخ المستديرة

القطر (ق) (مم)	مساحة المقطع (مم ²)	وزن وحدة الأطوال (كجم/متر)
٢٩	١١٩٥	٢,٢٣
٤٠	١٢٥٧	٢,٣٩
٤٢	١٣٨٥	٢,٧٤
٤٥	١٥٩٠	٤,٢٩
٤٨	١٨١٠	٤,٨٩
٥٠	١٩٦٣	٥,٣٠
٥٢	٢١٢٤	٥,٧٣
٥٥	٢٣٧٦	٦,٤١
٥٦	٢٤٦٣	٦,٦٥
٦٠	٢٨٢٦	٧,٦٣
٦٣	٣١١٦	٨,٤١
٦٧	٣٥٢٤	٩,٥١
٧٠	٣٨٤٦	١٠,٤
٧٥	٤٤١٥	١١,٩
٨٠	٥٠٢٤	١٣,٣
٨٥	٥٦٧٢	١٥,٣
٩٠	٦٣٥٩	١٧,٧
٩٥	٧٠٨٥	١٩,١
١٠٠	٧٨٥٠	٢١,٢
١١٠	٩٥٠٣	٢٥,٧
١٢٠	١١٣١٠	٣٠,٥
١٣٠	١٣٢٧٣	٣٥,٨
١٤٠	١٥٣٩٤	٤١,٦
١٥٠	١٧٦٧٢	٤٧,٧
١٦٠	٢٠١٠٦	٥٤,٣

(تابع) الأسياخ المستديرة

القطر (ق) (مم)	مساحة المقطع (مم ²)	وزن وحدة الأطوال (كجم/متر)
١٧٠	٢٢٦٩٨	٦١,٣
١٨٠	٢٥٤٤٧	٦٨,٧
١٩٠	٢٨٣٥٣	٧٦,٦
٢٠٠	٣١٤١٦	٨٤,٨
٢١٠	٣٤٦٣٦	٩٣,٥
٢٢٠	٣٨٠١٣	١٠٢,٦
٢٣٠	٤١٥٤٨	١١٢,٢
٢٤٠	٤٥٢٣٩	١٢٢,٢
٢٥٠	٤٩٠٨٧	١٣٢,٥

الزوايا المتساوية وغير المتساوية



الأبعاد (بالمليمتر) ع × ب × س	مساحة المقطع (سم ²)	وزن وحدة الأطوال (كجم/م)
1,5 × 10 × 10	0,282	0,0764
2 × 10 × 10	0,366	0,0988
2,5 × 10 × 10	0,451	0,122
1,5 × 10 × 20	0,422	0,166
2 × 10 × 20	0,566	0,153
2,5 × 10 × 20	0,701	0,189
1,5 × 10 × 15	0,432	0,117
2 × 10 × 15	0,566	0,153
2,5 × 10 × 15	0,701	0,189
1,5 × 10 × 25	0,508	0,137
2 × 10 × 25	0,666	0,180
2,5 × 10 × 25	0,826	0,223
2 × 10 × 30	0,866	0,234
2,5 × 10 × 30	1,06	0,292
3 × 10 × 30	1,27	0,343
2 × 20 × 20	0,766	0,207
2,5 × 20 × 20	0,953	0,257
3 × 20 × 20	1,12	0,302
2 × 20 × 30	0,964	0,206
2,5 × 20 × 30	1,20	0,324

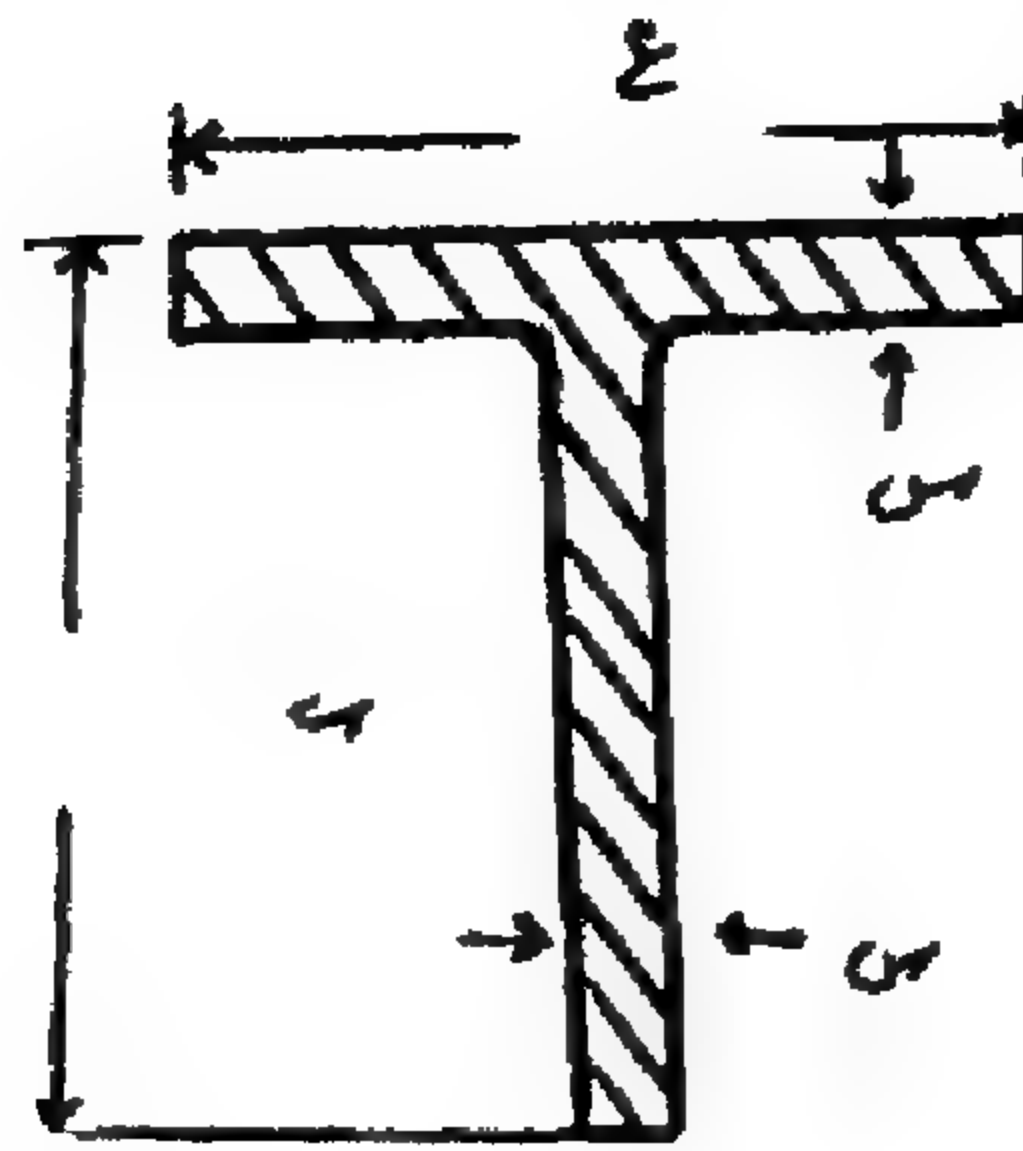
(تابع) الزوايا المتساوية وغير المتساوية

الأبعاد (بالمليمتر) ع×ب×س	مساحة المقطع (سم ²)	وزن وحدة الأطوال (كجم/م)
٣×٢٠×٣٠	١,٤٢	٠,٣٨٣
٤×٢٠×٣٠	١,٨٥	٠,٥٠٠
٢×٢٠×٤٠	١,١٦	٠,٣١٤
٢,٥×٢٠×٤٠	١,٤٥	٠,٣٩٢
٣×٢٠×٤٠	١,٧٢	٠,٤٦٤
٤×٢٠×٤٠	٢,٢٥	٠,٦٠٨
٢×٢٥×٢٥	٠,٩٦٦	٠,٢٦١
٢,٥×٢٥×٢٥	١,٢٠	٠,٣٢٤
٣×٢٥×٢٥	١,٤٢	٠,٣٨٣
٢,٥×٢٥×٤٠	١,٥٨	٠,٤٢٧
٣×٢٥×٤٠	١,٨٧	٠,٥٠٥
٤×٢٥×٤٠	٢,٤٥	٠,٦٦٢
٢,٥×٢٥×٥٠	١,٨٣	٠,٤٩٤
٣×٢٥×٥٠	٢,١٧	٠,٥٨٦
٤×٢٥×٥٠	٢,٨٥	٠,٧٧٠
٢,٥×٣٠×٣٠	١,٤٥	٠,٣٩٢
٣×٣٠×٣٠	١,٧٢	٠,٤٦٤
٤×٣٠×٣٠	٢,٢٥	٠,٦٠٨
٣×٣٠×٥٠	٢,٣٢	٠,٦٢٦
٤×٣٠×٥٠	٣,٠٥	٠,٨٢٤
٥×٣٠×٥٠	٣,٧٨	١,٠٢
٣×٣٠×٦٠	٢,٦٢	٠,٧٠٧
٤×٣٠×٦٠	٣,٤٥	٠,٩٣٢
٥×٣٠×٦٠	٤,٢٨	١,١٦
٢,٥×٣٥×٣٥	١,٧٠	٠,٤٥٩
٣×٣٥×٣٥	٢,٠٢	٠,٥٤٥
٤×٣٥×٣٥	٢,٦٥	٠,٧١٦
٥×٣٥×٣٥	٣,٢٨	٠,٨٨٦
٣×٤٠×٤٠	٢,٣٢	٠,٦٢٦
٤×٤٠×٤٠	٣,٠٥	٠,٨٢٤

(تابع) الزوايا المتساوية وغير المتساوية

الأبعاد (بالمليمتر) ع×ب×س	مساحة المقطع (سم ^٢)	وزن وحدة الأطوال (كجم/م)
٥×٤٠×٤٠	٣,٧٨	١,٠٢
٤×٤٠×٦٠	٣,٨٥	١,٠٤
٥×٤٠×٦٠	٤,٧٨	١,٢٩
٦×٤٠×٦٠	٥,٦٧	١,٥٣
٤×٤٠×٨٠	٤,٦٥	١,٢٦
٥×٤٠×٨٠	٥,٧٨	١,٥٦
٦×٤٠×٨٠	٦,٨٧	١,٨٥
٣×٥٠×٥٠	٢,٩٥	٠,٧٧٨
٤×٥٠×٥٠	٣,٨٥	١,٠٤
٥×٥٠×٥٠	٤,٧٨	١,٢٩
٦×٥٠×٥٠	٥,٦٧	١,٥٣
٥×٥٠×٦٥	٥,٥٣	١,٤٩
٧×٥٠×٦٥	٧,٦٤	٢,٠٦
١٠×٥٠×١٠٠	١٤,٠٨	٣,٨٠
٤×٦٠×٦٠	٤,٦٥	١,٢٦
٥×٦٠×٦٠	٥,٧٨	١,٥٦
٦×٦٠×٦٠	٦,٨٧	١,٨٥
٨×٨٠×٨٠	١٢,٢٤	٣,٣٠
١٠×٨٠×٨٠	١٥,٠٨	٤,٠٧
١٢×٨٠×٨٠	١٧,٨٤	٤,٨٢
١٠×٨٠×١٢٠	١٩,٠٨	٥,١٥
١٢×٨٠×١٢٠	٢٢,٦٤	٦,١١
١٢×٨٠×١٦٠	٢٧,٤٤	٧,٤١
١١×١٢٠×١٢٠	٢٥,٢٧	٦,٨٢
١٤×١٢٠×١٢٠	٢٩,٥٩	٧,٩٩
١٤×١٥٠×١٥٠	٤٠,١٢	١٠,٨٣

القياسات

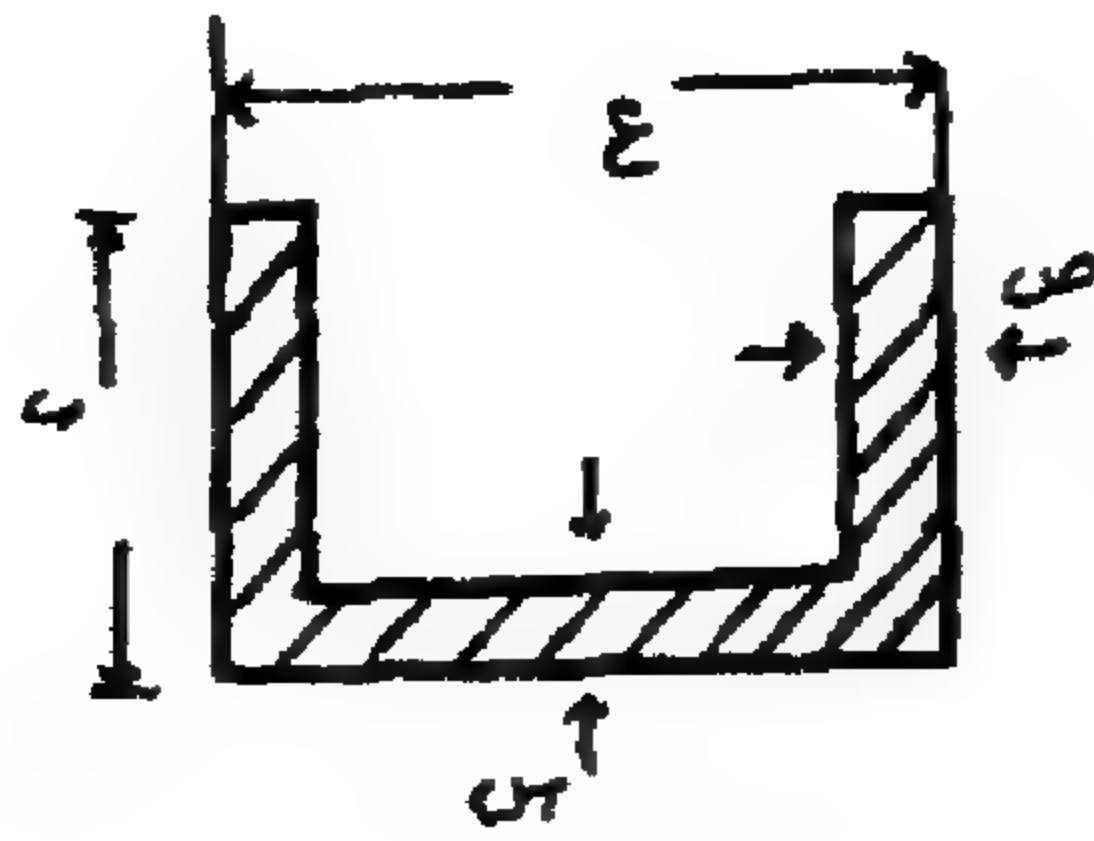


الأبعاد (بالملي متر) ع × ب × هـ	مساحة المقطع (سم ٢)	وزن وحدة الأطوال (كجم / م)
٢ × ٣٠ × ٢٠	٠,٩٦٩	٠,٢٦٢
٢,٥ × ٣٠ × ٢٠	١,٢١	٠,٣٢٧
٣ × ٣٠ × ٢٠	١,٤٤	٠,٣٨٩
٢ × ٤٠ × ٢٥	١,٢٧	٠,٣٤٣
٢,٥ × ٤٠ × ٢٥	١,٥٩	٠,٤٢٩
٣ × ٤٠ × ٢٥	١,٨٩	٠,٥١٠
٢ × ٣٠ × ٣٠	١,١٧	٠,٣١٦
٢,٥ × ٣٠ × ٣٠	١,٤٦	٠,٣٩٤
٣ × ٣٠ × ٣٠	١,٧٤	٠,٤٧٠
٤ × ٣٠ × ٣٠	٢,٢٧	٠,٦١٣
٢,٥ × ٤٥ × ٣٠	١,٨٤	٠,٤٩٧
٣ × ٤٥ × ٣٠	٢,١٩	٠,٥٩١
٤ × ٤٥ × ٣٠	٢,٨٧	٠,٧٧٥
٣ × ٦٠ × ٣٠	٢,٦٤	٠,٧١٣
٥ × ٦٠ × ٣٠	٤,٣٢	١,١٧
٢,٥ × ٣٥ × ٣٥	١,٧١	٠,٤٦٢
٣ × ٣٥ × ٣٥	٢,٠٤	٠,٥٥١
٤ × ٣٥ × ٣٥	٢,٦٧	٠,٧٢١
٣ × ٥٠ × ٣٥	٢,٤٩	٠,٦٧٢
٤ × ٥٠ × ٣٥	٣,٢٧	٠,٨٨٣

(تابع) القضبان

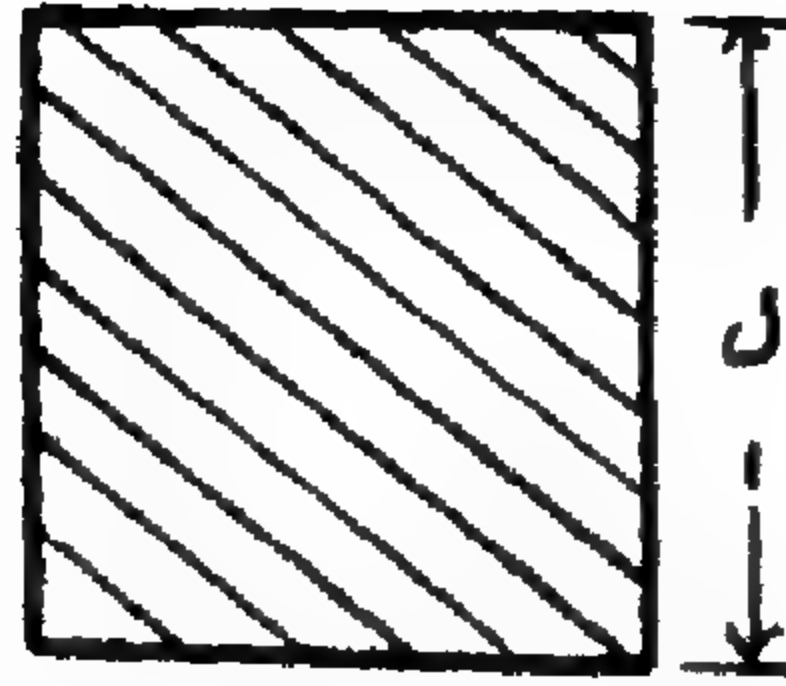
الأبعاد (بالمليمتر) ع×ب×س	مساحة المقطع (سم ²)	وزن وحدة الأطوال (كجم/م)
٥×٥٠×٣٥	٤,٠٧	١,١٠
٣×٤٠×٤٠	٢,٣٤	٠,٦٣٢
٤×٤٠×٤٠	٣,٠٧	٠,٨٢٩
٥×٤٠×٤٠	٣,٨٢	١,٠٣
٤×٦٠×٤٠	٣,٨٧	١,٠٤
٥×٦٠×٤٠	٤,٨٢	١,٣٠
٥×٨٠×٤٠	٥,٨٢	١,٥٧
٧×٨٠×٤٠	٨,٠٧	٢,١٨
٣×٥٠×٥٠	٢,٩٤	٠,٧٩٤
٤×٥٠×٥٠	٣,٨٧	١,٠٤
٥×٥٠×٥٠	٤,٨٢	١,٣٠
٦×٥٠×٥٠	٥,٧١	١,٥٤
٤×٧٠×٥٠	٤,٦٧	١,٢٦
٥×٧٠×٥٠	٥,٨٢	١,٥٧
٦×٧٠×٥٠	٦,٩١	١,٨٧
٧×١٠٠×٥٠	١٠,١٧	٢,٧٥
٩×١٠٠×٥٠	١٢,٨٥	٣,٤٧
٤×٦٠×٦٠	٤,٦٧	١,٢٦
٥×٦٠×٦٠	٥,٨٢	١,٥٧
٦×٦٠×٦٠	٦,٩١	١,٨٧
٧×٦٠×٦٠	٨,٠٧	٢,١٨
٨×١٢٠×٦٠	١٣,٩٢	٣,٧٦
١٠×١٢٠×٦٠	١٧,١٦	٤,٦٣
٦×٧٠×٧٠	٨,١١	٢,١٩
٨×٧٠×٧٠	١٠,٧٢	٢,٨٩
١٠×١٤٠×٧٠	٢٠,١٦	٥,٤٤
١٢×١٤٠×٧٠	٢٣,٩٢	٦,٤٦
٧×٨٠×٨٠	١٠,٨٧	٢,٩٤
٩×٨٠×٨٠	١٣,٧٥	٣,٧١
١٣×١٦٠×٨٠	٢٩,٦٧	٨,٠١
١٥×١٦٠×٨٠	٣٣,٩١	٩,١٠٦
٩×١٠٠×١٠٠	١٧,٣٥	٤,٦٩
١١×١٠٠×١٠٠	٢٠,٩٥	٥,٦٦

القضبان (كرمجری)



الأبعاد (بالمليتر) ع × ب × س × د	مساحة المقطع (سم ²)	وزن وحدة الأطوال (كجم/م)
2 × 2 × 20 × 40	1,02	0,412
3 × 3 × 20 × 40	2,20	0,608
3 × 3 × 30 × 40	2,80	0,770
4 × 4 × 30 × 40	3,71	1,000
4 × 4 × 40 × 40	4,01	1,22
5 × 5 × 40 × 40	5,07	1,50
3 × 3 × 30 × 50	2,10	0,801
4 × 4 × 30 × 50	4,11	1,11
4 × 4 × 40 × 50	4,91	1,32
5 × 5 × 40 × 50	6,07	1,64
4 × 4 × 30 × 60	4,01	1,22
5 × 5 × 30 × 60	5,07	1,50
4 × 4 × 40 × 60	5,31	1,42
5 × 5 × 40 × 60	6,07	1,77
6 × 6 × 40 × 80	8,90	2,42
8 × 6 × 40 × 80	11,2	3,02
6 × 6 × 40 × 100	10,1	2,74
9 × 6 × 50 × 100	14,1	3,80
9 × 7 × 50 × 120	17,2	4,64
10 × 7 × 60 × 140	20,6	5,50
11 × 8 × 60 × 160	25,5	6,89
11 × 8 × 70 × 180	28,2	7,61
12 × 9 × 70 × 200	34,0	9,18

الأسياخ المربعة

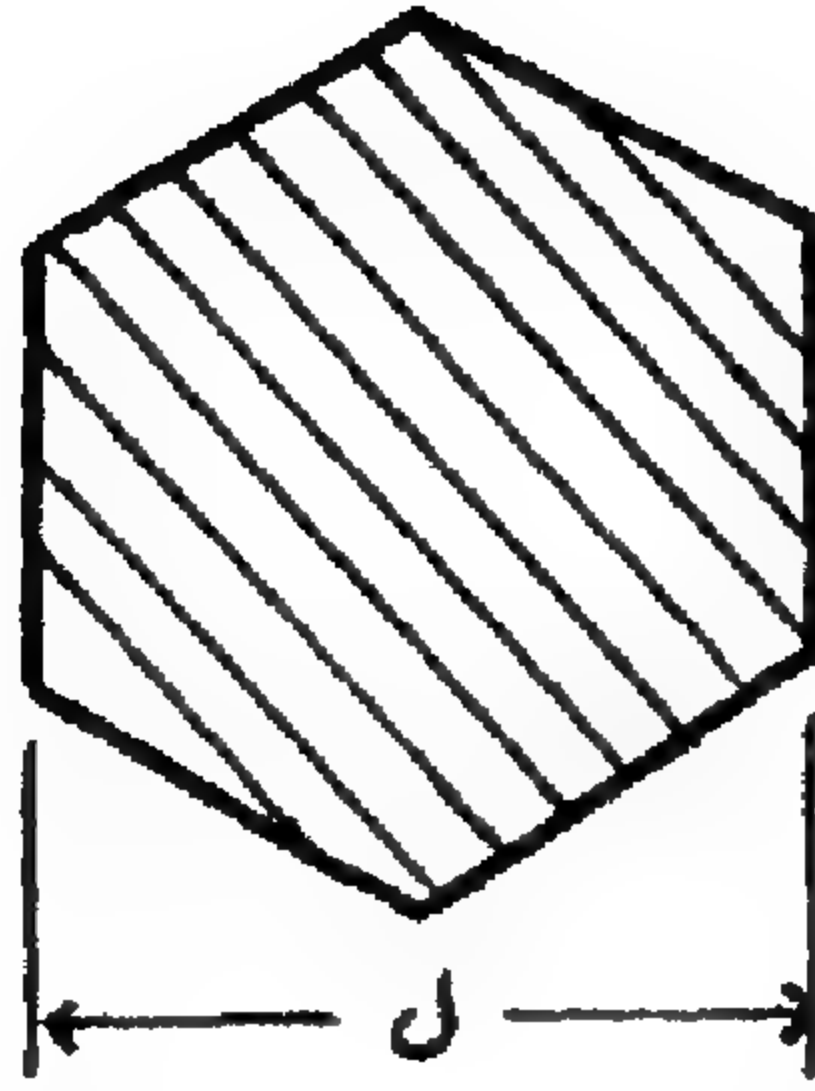


طول الفلج L (م)	مساحة المقطع L ² (م ²)	وزن وحدة الأطوال (كجم/م)
٢	٤	٠,٠١٠٨
٣	٩	٠,٠٢٤٣
٣,٥	١٢,٢٥	٠,٠٣٣١
٤	١٦	٠,٠٤٣٢
٤,٥	٢٠,٢٥	٠,٠٥٤٧
٥	٢٥	٠,٠٦٧٥
٥,٥	٣٠,٢٥	٠,٠٨١٧
٦	٣٦	٠,٠٩٧٢
٧	٤٩	٠,١٣٢
٨	٦٤	٠,١٧٣
٩	٨١	٠,٢١٩
١٠	١٠٠	٠,٢٧٠
١١	١٢١	٠,٣٢٧
١٢	١٤٤	٠,٣٨٩
١٤	١٩٦	٠,٥٢٩
١٥	٢٢٥	٠,٦٠٨
١٦	٢٥٦	٠,٦٩١

(تابع) الأسياخ المربعة

طول الضلع ل (مم)	مساحة المقطع ل ² (مم ²)	وزن وحدة الأطوال (كجم/م)
١٧	٢٨٩	٠,٧٨٠
١٨	٣٢٤	٠,٨٧٥
١٩	٣٦١	٠,٩٧٥
٢٠	٤٠٠	١,٠٨
٢٢	٤٨٤	١,٣١
٢٤	٥٧٦	١,٥٦
٢٦	٦٧٦	١,٨٨
٢٧	٧٢٩	١,٩٧
٢٨	٧٨٤	٢,١٢
٣٠	٩٠٠	٢,٤٣
٣٢	١٠٢٤	٢,٧٦
٣٦	١٢٩٦	٣,٥٠
٤١	١٦٨١	٤,٥٤
٤٦	٢١١٦	٥,٧١
٥٠	٢٥٠٠	٦,٧٥
٥٥	٣٠٢٥	٨,١٧
٦٠	٣٦٠٠	٩,٧٢

الأسياخ المسددة

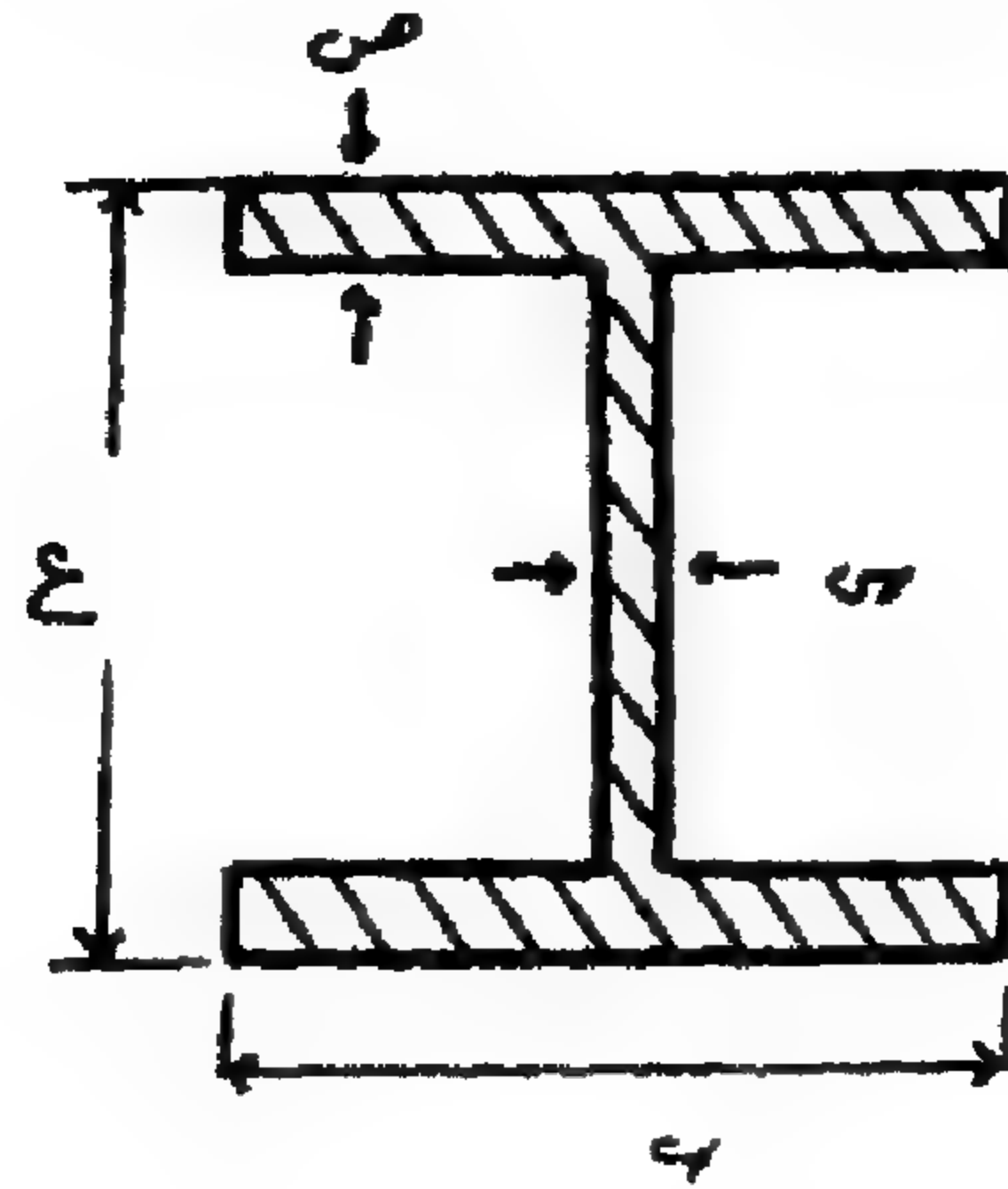


البعاد L (مم)	مساحة المقطع (مم^2)	وزن وحدة الأطوال (كجم/م)
٣	٧,٧٩٤	٠,٠٢١٠
٣,٥	١٠,٦١	٠,٠٣٨٦
٤	١٣,٨٦	٠,٠٣٧٤
٤,٥	١٧,٥٤	٠,٠٤٧٣
٥	٢١,٦٥	٠,٠٥٨٥
٥,٥	٢٦,٢٠	٠,٠٧٠٧
٦	٣١,١٨	٠,٠٨٤٢
٧	٤٢,٤٤	٠,١١٥
٨	٥٥,٤٣	٠,١٥٠
٩	٧٠,١٥	٠,١٨٩
١٠	٨٦,٦٠	٠,٢٣٤
١١	١٠٤,٨	٠,٢٨٣
١٢	١٢٤,٧	٠,٣٣٧
١٤	١٦٩,٧	٠,٤٥٨

(تابع) الأسياخ المسدسة

البيد ل (م)	مساحة المقطع (م ^٢)	وزن وحدة الأطوال (كجم/م)
١٧	٢٥٠,٣	٠,٦٧٦
١٩	٣١٢,٦	٠,٨٤٤
٢٢	٤١٩,٢	١,١٣
٢٤	٤٩٨,٨	١,٣٥
٢٧	٦٣١,٣	١,٧٠
٣٠	٧٧٩,٤	٢,١٠
٣٢	٨٨٦,٨	٢,٣٩
٣٦	١١٢٢	٣,٠٣
٤١	١٤٥٦	٣,٩٣
٤٦	١٨٣٣	٤,٩٥
٥٠	٢١٦٥	٥,٨٥
٥٥	٢٦٢٠	٧,٠٧
٦٠	٣١١٨	٨,٤٢

كرات على شكل 1 (كمر عادة)



الأبعاد (بالمليمتر) ع × ب × ص × ص	مساحة المقطع (سم ²)	وزن وحدة الأطوال (كجم / م)
3×3×40×40	3,47	0,937
4×4×40×40	4,53	1,22
3×3×40×40	3,92	1,06
4×4×40×40	5,13	1,39
5×4×40×40	5,95	1,61
3×3×50×50	4,37	1,18
4×4×50×50	5,73	1,55
6×4×50×50	7,66	2,01
3×3×50×60	4,67	1,26
4×4×50×60	6,13	1,66
4×4×60×60	6,93	1,87
6×4×60×60	9,26	2,50
6×4×62×80	7,90	2,13
6×5×60×80	10,74	2,90
7×5×50×100	11,44	3,09
7×6×70×100	15,27	4,12
8×5×58×120	14,79	3,99
9×7×80×120	21,85	5,90
9×6×66×140	19,51	5,27
10×8×90×140	27,91	7,54
10×7×74×160	24,91	6,73
10×7×82×180	27,91	7,54
11×8×90×200	34,35	9,28

thickening	تغليظ	vibrating screen	منخل هزاز
trunion	مرتكز دوراني	volatile matter	مادة طيارة
		volt	فولط
unit operation	عمليات فيزيقية موحدة	voltage	فولطية
unit process	أساليب كيميائية موحدة	workability	قابلية التشغيل
unlimited solubility		yield strength	مقاومة الخضوع
	ذائبة غير محدودة		

pouring gate مصب (سباكة)
 powder مسحوق
 precipitation ترسيب - ترسب
 precipitator مرسب
 pretectic reaction تفاعل بريتكى
 pulp لباب
 purity نقاء ، نقاوة
 quartz كوارتز
 quenching تسقية (تبريد سريع)
 reaction energy طاقة التفاعل
 recovery استعادة
 recrystallization إعادة التبلور
 red mud طينة حمراء
 refining تنقية
 reflectivity انعكاسية
 refractories حراريات
 resistance coil ملف مقاومة
 reverberatory electric furnace فرن كهربائى عاكس
 reverberatory furnance فرن عاكس
 reversible reaction تفاعل عكسى
 roasting تحميص
 rolling درفلة
 rotary kiln قينة دوارة
 seed crystal نواة بلورية
 segregation انفصالية
 shear strength مقاومة القص
 sintering تلييد

slip planes مستويات انزلاق
 soaking تشريب (حرارى)
 soda ash صودا آش (رماد الصودا)
 sodium aluminate ألومينات الصوديوم
 solidification تجمسد
 solid solution محلول جامد
 solidus خط الجمود
 solubility ذائبية
 solute مذاب
 specific heat الحرارة النوعية
 squeeze هصر
 steam digester هاضم بخارى
 steam separator فاصل البخار
 steel bar قضيب فولاذى
 stiffness كزازة
 stress إجهاد
 superheated steam بخار محمص
 supersaturated تشبع مفرط
 suspension معلق
 synthetic اصطناعى
 syphon مشب (سيفون)
 taphole فتحة الصب
 tar قطران
 tensile strength مقاومة الشد
 three-high mill ماكينة درفلة ثلاثية
 three phase current تيار كهربائى ثلاثى الأطوار (الأوجه)
 thermite ثرميت
 thickener منفذ

grain refining	تهذيب الحبيبات
graphite	جرافيت
grinding	طحن
hammer mill	طاحونة مطرقية (طاحونة الشواكيش)
heat treatment	معاملة حرارية
heavy metal	فلز ثقيل
homogeneity	تجانس
hot working	تشغيل على الساخن
hydrated alumina	ألومينا ممتية
hydroelectric station	محطة كهرومائية
ignition point	نقطة الاشتعال
impurities	شوائب
Inconel	إنكونل (سبيكة إنكونل) (سبيكة من النيكل والحديد والكروم)
induction	حث (كهربائي)
induction transformer	محول حثي
inhibitor	مثبط (كيميائي)
insoluble	غير قابل للذوبان
intergranular	بين الحبيبات
ladle	بودقة
latent heat	حرارة كامنة
leaf filter	مرشح ورق
leaf spring	ياي ورق
limestone	حجر جيري
lining	بطانة
liquidus	خط السيولة
low-grade ore	خام رديء الجودة
lubrication	تزييق

melting range	نطاق انصهارى
mercury arc rectifier	مقوم قوسى زئبقى
modulus of elasticity	معامل المرونة
molecular ratio	نسبة جزيئية
Monel metal	معدن مونل (سبيكة أساسها النحاس والنيكل)
noble metals	معادن نفيسة
nonvariant	غير متنوع
open mines	مناجم مكشوفة
orange peel	قشرة البرتقالة
ore	خامة معدنية
oxyacetylene	أكسى استيلينى
parallel circuit	دائرة على التوازي
peat	خث (نوع رديء من الوقود)
phase	صنف (طور)
pile	عمود كهربائى - مرم
pitch	قار
plastic deformation	تشوه لدن
platform	منصة
pneumatic piston	كباس بالهواء المضغوط
Poisson's ratio	نسبة « بواسون »
pole	قطب
polishing	تلميع ، صقل
porosity	مسامية
potential	جهد قطبى

clamp قامطة
 classifier مصنف
 clay طفل
 coke فحم كوك
 cold working تشغيل على البارد
 complex compound مركب (كيميائي) معقد
 concentration triangle مثلث التركيز
 condenser مكثف
 conveyor ناقل
 copper rod قضيب نحاس
 corrosion تآكل كهروكيميائي
 crankcase علبة المرفق
 crushing تكسير (خامة معدنية)
 cryolite كريولايت
 crystal بلورة
 crystal pattern نمط بلوري
 cylinder head رأس الأسطوانات
 decomposition تفكك
 dewatering إزالة الماء
 diffusion انتشار
 digest هضم (احتواء كيميائي)
 digester وعاء هاضم
 ductility مطيلية
 eddy motion حركة دوامية
 electrical conductivity موصلية كهربائية
 electric cell خلية كهربائية
 electric induction حث كهربائي

electrolysis تحليل بالكهرباء
 electrolytic solution محلول إلكتروليتي
 electrode إلكترود
 electrolyte إلكتروليت
 elongation استطالة
 emissivity ابتعائية
 equilibrium diagram منحنى اتزان حراري
 erosion تآكل
 etching نَمش (بمحلول كيميائي)
 extrusion بثشق
 filtration ترشيح
 floatation تمويم
 flo(u)rides فلوريدات (أملاح الفلور)
 fluorspar(Ca F₂) فلورسبار (كا فل ٢)
 flux عامل صهار (فلक्स)
 foil رقيقة
 forgeability قابلية التشكيل بالطرق أو الكبس
 forging طرق - حدادة
 free energy طاقة مطلقة
 friction احتكاك
 fuel furnace فرن وقود
 galvanic corrosion تآكل جلفاني
 galvanic pile عمود جلفاني
 gas engine محرك بنزين
 generator مولد (كهربائي)

المصطلحات الفنية

(إنجليزى - عربى)

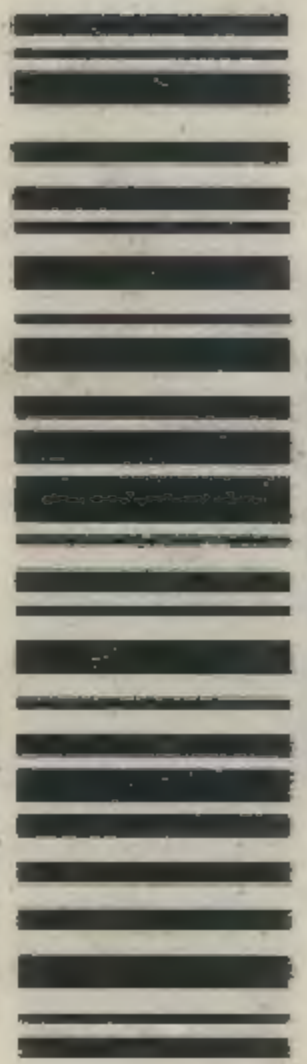
acidity	حمضية	autoclave	أوتوكلاف
ageing	تعتيق إزماني	ball mill	طاحونة ذات كريات
agitator	قلاب - مقلب		(طاحونة الكور)
alkaline metals	فلزات الإقلاء	base metal	فلز أساسى
allotropic	متآصل - تآصل	bath	مهور (المعدن)
alumina	ألومينا	bauxite	بوكسيت
(aluminum oxide)		Bayer's process	طريقة باير
	(أكسيد الألومنيوم)	bed-plate	لوح الأساس
aluminum carbide		belt conveyor	ناقلة بالسير
	كربيد الألومنيوم	binary system	مجموعة ثنائية
aluminum (metallic)		brinell number	عدد برينل
	ألومنيوم (فلزى)	brittle	قصيف
aluminum pigs		calcination	تكليس ، كلسة
	كتل صغيرة من الألومنيوم	castability	سبكية (قابلية السباكة)
aluminum powder		casting	سباكة (صب)
	مسحوق الألومنيوم	cathode	كاثود (مهيظ)
anode	أنود (مصعد)	cation	كاتيون
anodic effect	تأثير أنودى	caustic liquor	سائل قلوى
annealing	تلدين (تخمير)	caustic soda	صودا كاوية
anthracite		(Na OH)	(ص أ يد)
	أنثراست (نوع من الفحم)	caustic solution	محلول كاو
artificial ageing		chemical compound	مركب كيميائى
	تعتيق إزماني اصطناعى		
ash	رماد		

سلسلة الأسس التكنولوجية

- ١ - الكيمياء الصناعية
- ٢ - أشغال الخشب (النجارة)
- ٣ - الألكترونيات
- ٤ - المخرطة
- ٥ - الأمان الصناعي
- ٦ - براد التجميع
- ٧ - هندسة الموتوسيكلات
- ٨ - النظائر في البحوث والإنتاج
- ٩ - تشكيل المعادن بدون قطع
- ١٠ - الأساسيات الكهربائية ج ١
- ١١ - الأساسيات الكهربائية ج ٢
- ١٢ - هندسة السيارات
- ١٣ - هندسة الجارات
- ١٤ - الجداول الفنية (-)
- ١٥ - الرسم الهندسي
- ١٦ - اللحام بالغاز ج ١
- ١٧ - اللحام بالغاز ج ٢
- ١٨ - اللحام بالغاز ج ٣
- ١٩ - أشغال المعادن
- ٢٠ - التركيبات الكهربائية
- ٢١ - أشغال قطع المعادن
- ٢٢ - تكنولوجيا الألومنيوم ج ١
- (-) نقد وسيعاد طبعه



Bibliotheca Alexandrina



0227256